

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Perigosidade associada a temporais no arco litoral Cascais – Cabo
Espichel**

Bogdan Jaranović

Dissertação de mestrado orientada
pelo Prof. Doutor Jorge Trindade e Prof. Doutor Adélio Silva

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2017

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Perigosidade associada a temporais no arco litoral Cascais – Cabo
Espichel**

Bogdan Jaranović

Dissertação de mestrado orientada
pelo Prof. Doutor Jorge Trindade e Prof. Doutor Adélio Silva

Júri:

Presidente: Professora Doutora Ana Paula Ribeiro Ramos Pereira, Professora
Catedrática do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da
Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professor Doutor Rui Pires de Matos Taborda, Professor Auxiliar do
Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de
Lisboa
- Professor Doutor Jorge Manuel do Rosário Trindade, Professor Auxiliar da
Universidade Aberta e Investigador do Centro de Estudos Geográficos do
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2017

Agradecimentos

Existe um grande número de pessoas que permitiram a construção desta dissertação e às quais desejo expressar o meu mais sincero agradecimento.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador Jorge Trindade, que proporcionou todas as condições necessárias para o desenvolvimento desta tese. Agradeço pela disponibilidade e apoio oferecidos ao longo deste ano letivo. Foi uma tese que levantou diversos problemas metodológicos que sempre foram ultrapassados com o seu excepcional conhecimento e incansável apoio. Agradeço também a todos os colegas do SLIF que sempre se mostraram interessados em debater qualquer questão e sempre se disponibilizaram para ajudar.

Agradeço à Professora Doutora Ana Ramos Pereira e ao Professor Doutor Carlos Neto não só pelo apoio e discussão nas aulas do seminário de investigação, mas também, e essencialmente, por transmitirem o gosto pela geografia física ao longo de ciclos anteriores.

Também desejo agradecer ao Engenheiro Adélio Silva por me receber na Hidromod e oferecer as condições necessárias para o desenvolvimento de metodologias de análise de agitação marítima que não conhecia anteriormente. Agradeço a toda a equipa da Hidromod por me ter recebido sempre com simpatia, em especial ao João Ribeiro pela paciência para me transmitir o conhecimento sobre os diversos modelos utilizados.

Fora do meio académico devo agradecer a diversos amigos que gostava de referir: à Mihaela, ao Pedro, ao Ricardo, ao Rafa e ao Dmitry pela conversa sobre a dissertação, mas acima de tudo pela conversa que me distraía da dissertação e me permitia períodos de descanso. Agradeço a todos os colegas de mestrado que durante este longo caminho continuaram atentos e tiveram paciência para discutir ideias e projetos.

Por fim, desejo agradecer à minha irmã Jovana pelo apoio e pela disponibilidade para me ajudar em qualquer ocasião, ao longo desta tese e muito antes dela e à minha querida Laura pelo constante apoio e carícias nos momentos de menor vontade de trabalhar e pelas correções ortográficas dos textos (mas especialmente pela paciência e pelo apoio).

Por último, mas certamente o mais importante, desejo agradecer aos meus pais que sempre me incentivaram a estudar e a continuar a lutar pelo melhor, por me

proporcionarem todas as condições necessárias para os estudos e um harmonioso e acolhedor ambiente em casa para o descanso.

Resumo

As áreas costeiras são caracterizadas pela sua grande dinâmica, encontrando-se expostas a agentes poderosos. A agitação marítima próxima da costa é um dos fatores mais importantes para a análise da erosão e das inundações costeiras, conduzindo a consequências graves, como a destruição de infraestruturas de proteção costeira, inundações de casas e estabelecimentos comerciais ou mesmo desalojamentos e perdas de vidas. Estas consequências são seriamente amplificadas com a forte ocupação antrópica e a instalação de infraestruturas pesadas de proteção costeira. Assim, é de extrema importância para o ordenamento territorial e para a proteção civil a análise da distribuição espacial da perigosidade a temporais para fins de prevenção e mitigação, proporcionando a construção de planos adequados em caso de ocorrência de calamidades. Os temporais marítimos são um evento frequente na área de estudo que se estende desde o Cabo Raso até ao Cabo Espichel. Esta área encontra-se afetada essencialmente por temporais provenientes de noroeste (NO).

Para o cálculo do índice de perigosidade costeira é utilizada a variável desencadeante e um conjunto de variáveis condicionantes, que são apresentadas de seguida: a H_s do período de retorno de 100 anos, o uso do solo (COS), o número de edifícios (BGRI), a altitude, o declive, a geologia, a geomorfologia, as tendências da costa, a largura dos sistemas, a exposição da linha de costa, a batimetria e as áreas protegidas. Estas variáveis foram classificadas hierarquicamente em grupos e cada uma delas foi classificada em 5 classes, representando as áreas com menor e maior favorabilidade à ocorrência de temporais. Os resultados da metodologia foram validados através da base de dados de ocorrências criada que apresentava uma comparação satisfatória entre as áreas das ocorrências e as áreas de elevado índice de perigosidade costeira. Os resultados proporcionaram a identificação das áreas de maior e menor perigosidade costeira a temporais. As classes de elevado índice de perigosidade costeira ocorrem em territórios fortemente antropizados, com baixa altitude e em sistemas sedimentares e as áreas de elevada erosão costeira também apresentam elevada importância. As principais consequências ligadas a temporais identificadas são inundações e erosão costeira e destruição de infraestruturas de proteção costeira ou de apoios de praia.

Palavras-chave: Linha de costa; agitação marítima; períodos de retorno; modelação numérica; perigosidade.

Abstract

Coastal areas are among the most dynamic earth systems as they are exposed to powerful agents. Nearshore wave energy is one of the most important triggering factors for erosion and flooding and is often neglected for severe infrastructure damaging, property losses and loss of life. These consequences are amplified with high population density and heavy infrastructure implantation as it happens in Lisbon (Portugal). In this context, it is of great importance for coastal stakeholders, decision-makers and civil protection entities to estimate precisely the spatial distribution of storm hazard for prevention and mitigation purposes, as well as to design adjusted answers for calamity responses.

Coastal floods and storm occurrence is frequent in the study area that starts in Cabo Raso and ends in Cabo Espichel. This area has several sectors with strong human presence and erosion rates and its affected dominantly by storms from NW.

It is applied a coastal storm hazard index (CSHI) considering triggering and conditioning variables involved in the effects of an extreme storm, namely: 100-year return period of SWAN modelled H_s , and its spatial distribution across the study area, land use, number of buildings, height, slope, geology, geomorphology, erosion/accretion rates, width of the systems, exposure of the coastline, bathymetry and legally protected areas. The variables were weighted according to a hierarchical analysis process and classified into five classes of exposure. A validation process was then implemented by comparing the occurrences identified in the last two decades newspapers and the storm hazard classification, showing a satisfactory validation results. The results show a classified storm hazard map that identifies the most and the less exposed areas. High values of CSHI occur in areas with excessive human pressure, low heights sandy systems with significant costal erosion rates. The main type of consequences identified are associated with inland flooding and erosion, resulting in the destruction of coastal protection infrastructures, and population displacement leading to great economic and social impacts and loss of life.

Keywords: Coast, waves, return period, numerical modelling, hazard index.

Índice geral	
Agradecimentos	i
Resumo	iii
<i>Abstract</i>	iv
Índice geral	vii
Índice de figuras	x
Índice de quadros	xiii
Acrónimos	xiv
Capítulo 1 – Estado da arte	1
1.1 – O conceito de temporal	1
1.2 – Os perigos costeiros e os temporais	3
1.3 – Indicadores de perigosidade associados a temporais	11
1.4 – Os temporais no litoral de Portugal continental	13
1.5 – Sinopse	17
Capítulo 2 – Enquadramento temático e objetivos da dissertação	19
2.1 – Enquadramento temático da dissertação	19
2.2 - Objetivos	20
2.3 – Estrutura da dissertação	20
Capítulo 3 – Área de estudo	23
3.1 – Delimitação da área de estudo	23

3.2 – Análise geomorfológica e tipologias de sistemas litorais	26
3.3 – Hidrodinâmica marinha	35
3.4 – Ocupação do solo e urbanização do litoral	40
3.5 – Sinopse	43
Capítulo 4 – Fontes, técnicas e métodos	45
4.1 – Fontes de dados	45
4.2 – Definição das UEALitoral	50
4.3 – Modelos numéricos de elevação	51
4.4 – Modelação hidrodinâmica de temporais	53
4.4 a) <i>WaveWatch III</i>	54
4.4 b) <i>SWAN (Simulating Waves Near-Shore)</i>	55
4.4 c) Processo de modelação WW3 + SWAN	56
4.4 d) Parametrização do <i>WaveWatch III</i> e do <i>SWAN</i>	58
4.5 – Determinação de períodos de retorno de ondas de temporal	61
4.5 a) <i>peak-over-threshold (POT)</i>	63
4.5 b) <i>r-largest annual maxima</i>	64
4.6 – Indicadores de perigosidade associados a temporais	65
4.7 – Sinopse	71
Capítulo 5 – Os temporais no arco Cabo Raso – Cabo Espichel	73
5.1 – Períodos de retorno associados aos temporais	73

5.2 – Distribuição espacial das características hidrodinâmicas dos temporais	79
5.3 – Inventariação de eventos e danos dos temporais com registo de notícias	86
5.4 – Determinação da perigosidade associada aos temporais	91
5.4.1 – Favorabilidade do litoral à incidência de temporais marítimos	91
5.4.2 – Índice de perigosidade associada aos temporais	98
Capítulo 6 – Conclusão	105
Referências bibliográficas	111
Anexos	122
Anexo I – Base de dados de eventos e ocorrências provocados por temporais	122
Anexo II – Ficheiros de entrada <i>SWAN</i> para Portugal Continental e <i>SWAN</i> na área de estudo	128

Índice de figuras

Figura 1 – Distribuição dos temporais e respetivos parâmetros segundo os dados de modelação do projeto <i>micore</i> para Sines; Fonte Sousa, 2015.	15
Figura 2 – Enquadramento geográfico da área de estudo, arco litoral do Cabo Raso ao Cabo Espichel, com os sistemas costeiros identificados.	23
Figura 3 – Exemplificação da delimitação dos sistemas costeiros através dos critérios descritos previamente.	24
Figura 4 – Descrição da tipologia de sistemas costeiros presentes na área de estudo.	25
Figura 5 – Apresentação da batimetria da margem ocidental Ibérica (a) e da área envolvente à península de Lisboa e Setúbal (b).	27
Figura 6 – Representação do sistema arenoso, praia-duna através do ortofotomapa 2007 a) e através de fotografia b). Fonte: Sousa, 2015.	29
Figura 7 – Representação do sistema praia-arriba através do ortofotomapa 2007 a) e através de fotografia b). Fonte: Sousa, 2015.	30
Figura 8 – Representação do sistema rochoso de baixa altitude através do ortofotomapa 2007 a) e através de fotografia b). Fonte: <i>Google Earth, Pateb.com</i> , acedido a 20.7.2017.	30
Figura 9 – Representação do sistema rochoso de elevada altitude através do ortofotomapa 2007 a) e através de fotografia b). Fonte: <i>Google Earth, Pateb.com</i> , acedido a 20.7.2017.	31
Figura 10 – Representação do sistema artificializado através do ortofotomapa 2007 a) e através de fotografia b). Fonte: <i>Google Earth, Pateb.com</i> , acedido a 20.7.2017.	32
Figura 11 – Perfil (a) do sistema praia-duna na área da Praia da Rainha; Perfil (b) do sistema de arribas presente a Sul da praia das Bicas; Perfil (c) representativo do litoral baixo rochoso da área de Oitavos, Cascais.	33
Figura 12 – Determinação das H_s médias e máximas da ondulação junto à costa. a) Tamariz; b) praia da Costa da Caparica; c) praia do Castelo; d) Lagoa de Albufeira. Fonte: APA, 2013a.	37
Figura 13 – Células sedimentares e o respetivo balanço sedimentar segundo GTL, 2014.	40

Figura 14 – Exemplificação das parcelas criadas para a área das praias da Costa da Caparica	50
Figura 15 – Representação das áreas de simulação para cada batiméria – a) Malha de 1km margem ocidental Ibérica; b) malha de 200m para a área entre Cabo da Roca e Cabo Espichel; c) malha de 50m para o Litoral sul da península de Lisboa e a margem ocidental da península de Setúbal.	53
Figura 16 – Esquema representativo do processo de modelação numérica de agitação marítima e da sua validação, na área de estudo.	58
Figura 17 – Identificação das diferentes equações da função de <i>Gumbel</i> , <i>Fréchet</i> e <i>Weibull</i> com a representação das respetivas retas de equação. μ - Localiza o centro da amostra; σ - Representa a dispersão em torno do ponto central; ξ_f - Uma das três formas possíveis da distribuição.	62
Figura 18 - Nesta função, μ – depende da escala, sendo relativo ao parâmetro da localização; σ – corresponde ao parâmetro da escala; ξ_f – forma da curva de distribuição. Assim, caso $\xi_f \approx 0$, a distribuição é a de <i>Gumbel</i> ; caso $\xi_f > 0$, a distribuição é a de <i>Fréchet</i> e caso $\xi_f < 0$, a distribuição é a de <i>Weibull</i> .	63
Figura 19 – Estabelecimento de um linear para o método <i>POT</i> , através do resíduo médio dos valores de altura significativa de onda da boia de Sines utilizando os dados do projeto <i>micore</i> (Dodet <i>et al.</i> , 2010).	64
Figura 20 – Cálculo do período de retorno; p corresponde ao período de retorno pretendido (100 anos $\approx 0,01$; 50 anos $\approx 0,02$; 25 anos $\approx 0,04$; 10 anos $\approx 0,1$; 5 anos $\approx 0,2$).	62
Figura 21 – Equação de cálculo do índice de perigosidade costeira. As letras apresentadas encontram-se pela mesma ordem e descrição do quadro 9.	70
Figura 22 – Gráficos referentes ao período de retorno e à distribuição da série de valores em cada análise efetuada.	75
Figura 23 – Período de retorno e distribuição dos valores do período médio utilizando o método dos máximos anuais.	79
Figura 24 – Gráfico de validação da modelação da H_s do modelo SWAN e da boia da APL - Administração do Porto de Lisboa (a) e os resultados da análise estatística para os parâmetros da H_s , direção média e período médio (b).	80

Figura 25 – Representação da repartição espacial da H_s (m) simulada para os períodos de retorno de 5 (a), 10 (b), 25 (c), 50 (d) e 100 (e) anos utilizando o modelo <i>SWAN</i> sobre uma malha de 200m de resolução espacial.	83
Figura 26 – Distribuição espacial das ocorrências provocadas por temporais no período entre 2015 e 2000 por concelho.	87
Figura 27 – Gráfico ilustrativo do número de cada tipologia de ocorrência registada.	89
Figura 28 – Identificação do número de temporais por ano (a) e por mês (b).	90
Figura 29 – Classificação espacial da favorabilidade às consequências de temporais para o cálculo do índice de perigosidade costeira.	92
Figura 30 – Curva ROC Associada à validação do índice de perigosidade através da comparação de área ocupada por cada classe de perigosidade e a percentagem de ocorrências que se encontram em cada um deles.	98
Figura 31 – Distribuição espacial do índice de perigosidade costeira entre o Cabo Raso e o Cabo Espichel.	100

Índice de quadros

Quadro 1 – Processos que atuam sobre as ondas conforme a sua aproximação à costa; Fonte: Martins, 2012	7
Quadro 2 – Terminologia associada ao risco; Fonte: Julião <i>et al.</i> , 2009	10
Quadro 3 – Análise da exposição da costa a diversos perigos segundo autores nacionais e internacionais com as respectivas variáveis.	11
Quadro 4 – Apresentação dos dados utilizados, das respectivas fontes, escalas e propósitos.	48
Quadro 5 – Comparação entre os processos presentes no SWAN e a localização onde o seu efeito é mais dominante. Fonte: Holthuijsen, 2007.	56
Quadro 6 – Constantes associadas à grelha espacial (SBT1 GAMMA – Fricção do fundo; MISC FLAGrt – Indicação de uma <i>sub-grid</i> ; CICEO e CICEO – concentração de gelo) Fonte: NOAA, 2012. http://polar.ncep.noaa.gov/waves/implementations.shtml .	59
Quadro 7 – Escala utilizada para definir as diferenças hierárquicas entre as variáveis e as respectivas definições; Fonte: Saaty, 1987.	66
Quadro 8 – Definição das variáveis utilizadas e da importância atribuída a cada uma delas.	67
Quadro 9 – Classificação das variáveis usadas para o estudo da perigosidade costeira a temporais.	69
Quadro 10 – Valores dos períodos de retorno para Portugal estabelecidos por diversos autores. Fonte: Adaptado de Ferreira e Dias, 1997.	73
Quadro 11 – Resultados dos métodos aplicados e comparação com valores da bibliografia.	77
Quadro 12 – Condições de fronteira utilizadas para a simulação dos temporais excepcionais no modelo <i>SWAN</i> estacionário.	82

Acrónimos

AHP - Analytic Hierarchy Process

APA – Agência Portuguesa do ambiente

APL – Administração do Porto de Lisboa

BGRI - Base Geográfica de Referenciação de Informação

CM – Câmara Municipal

COS – Carta de uso e ocupação de solo

CVI – Coastal Vulnerability Index

CSHI – Coastal storm hazard index

DGT – Direção Geral do Território

DN – Diário de Notícias

EMODNET - European Marine Observation and Data Network

EUA / USA – Estado Unidos da América

EVD – Extreme Values Distribution

GEV – Generalized extreme value distribution

GTL – Grupo de trabalho do litoral

H_s – Altura Significativa da onda

H_{max} – Altura máxima da onda

ICNF – Instituto da conservação da natureza e florestas

IGP – Instituto Geográfico Português

INE – Instituto Nacional de Estatística

Ismev - Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values

JONSWAP – Join North Wave Project

LNEC – Laboratório de Engenharia Civil

LIDAR – Light Detection and Ranging

MNE – Modelo Numérico de Elevação

Micore - Morphological impacts and coastal risks induced by extreme events

N – Norte

NE - Nordeste

NO / NW – Noroeste

N.O.A. – Oscilação do Atlântico Norte

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

O / W – Oeste

ONO – Oés-noroeste

POT – Peak over threshold

P.R. – Período de retorno

SE - Sudeste

SO – Sudoeste

SIG / GIS – Sistemas de Informação geográfica

SWAN – Simulating Waves Nearshore

T_z – Período médio da onda

TIN - Triangulated Irregular Networks

UEAL – Unidades elementares de análise do litoral

WW3 – WaveWatch III

WGS – World Geodetic System

Capítulo 1 – Estado da arte

Os temporais marítimos são um fenómeno extremo que poderá levar às mais graves consequências e às alterações da linha de costa mais dinâmicas, representando por isso um evento danoso e muitas vezes imprevisível para a população costeira (Kusky T, 2008). São responsáveis pela erosão costeira, destruição de estruturas de proteção ou de apoios de praia, inundações de estradas, habitações e estabelecimentos comerciais e provocam frequentemente desalojados ou pessoas mortas. Por este motivo, e de forma a diminuir as consequências dos temporais marítimos é necessário o estudo destes eventos procurando o conhecimento das suas características, distribuição espacial, probabilidade de ocorrência e as áreas fortemente afetadas.

Ao longo deste capítulo 1, será analisado o conceito de temporal e os tópicos mais relevantes para o estudo de temporais marítimos, analisando os diferentes perigos costeiros e a sua interação com os temporais, a incidência, distribuição e frequência dos temporais extremos em Portugal Continental, e os métodos e variáveis utilizadas para o estudo deste fenómeno extremo por diversos autores que abordam a temática. Assim, é pretendido obter o conhecimento essencial sobre a temática dos temporais, justificando a importância do estudo deste tema e analisando as abordagens metodológicas utilizadas por outros autores.

1.1 O conceito de temporal

Tendo em consideração que o foco principal desta dissertação será o estudo dos temporais, aborda-se neste ponto o conceito de ‘temporal’. A definição do limite de temporal, acima do qual importantes mudanças morfológicas ou danos em estruturas costeiras podem ser esperadas, não é claro nem consistente ao longo da literatura científica. Assim, são observados diferentes métodos para a análise do limite de temporais, alguns utilizando apenas o valor de H_s , enquanto que outros estabelecem conceitos mais complexos com a utilização de diversas variáveis para a definição de um temporal. De seguida, serão apresentados exemplos de conceitos de temporal a nível nacional e internacional gerados através de metodologias e abordagens conceituais distintas.

Dolan e Davis (1992) afirmam que o início de um temporal ocorre quando a altura significativa da onda (H_s) excedia os 1,5m em águas profundas na região central do

Oceano Atlântico dos Estados Unidos da América (EUA). Verificou-se que a partir deste limite ocorria a erosão significativa do perfil em praias da Carolina do Norte. Desde 1985, o *United States - Army Corps of Engineers* tem usado, na mesma região, um limite de 2m na área final do paredão (profundidade 7,6m). Este valor é calculado através da média da H_s , somando duas vezes o desvio padrão. O fim do temporal ocorre quando a H_s desce o valor dos 2m (Basco e Mahmoudpour, 2012). O mesmo método de cálculo foi utilizado pela Universidade Politécnica da Catalunha para a costa da Catalunha. Já para a determinação do limite do temporal na costa da Bélgica foi determinado que um temporal é caracterizado por uma H_s , ao largo da costa, superior a 4m, bem como um nível da água superior a +5m, uma duração superior a 12h, uma energia de onda que ultrapasse 6.5 E+05 J/m² e a direção do vento entre O e NO (Haerens *et al.*, 2012). Segundo a escala internacional de vento Beaufort, é atingido o grau de temporal quando a velocidade do vento se encontra entre os 24,5 e os 28,4 m/s, com uma ondulação entre 6,1 e 9,1m de altura. Nesta escala, os temporais [*storm*] são classificados como número 10, de uma escala de 12. A ondulação é caracterizada como alta, estando associada a uma visibilidade reduzida. Quando a altura da onda se encontra entre os 9,2m e os 13,7m dá-se uma subida de classificação para *strong storm* (Schwartz, 2005). Outro dos métodos utilizados para a determinação do limite dos temporais consiste na avaliação da vulnerabilidade da costa aos temporais através da correlação de eventos que proporcionam mudanças morfológicas significativas ou elevados prejuízos com os respetivos agentes hidrodinâmicos. Deste modo, seria possível definir limites críticos para os parâmetros hidrodinâmicos. Para alcançar este objetivo é necessário analisar quais os mecanismos forçadores aos quais a costa reage e estabelecer o limite baseado nas observações e alterações morfológicas significantes ou prejuízos na zona costeira (Haerens *et al.*, 2012).

No caso das definições nacionais (Pita e Santos, 1989; Costa, 1994) considera-se que ocorre um temporal no litoral ocidental de Portugal quando a H_s excede os 5m, valor este que é menor para o litoral da costa Algarvia, onde ocorre um temporal quando a ondulação atinge uma H_s de 3m. Esta definição não tem em conta a duração do temporal, pelo que, toda a ondulação esporádica que exceda os 5m (H_s) pode ser considerada como temporal. Trindade J. (2010), ao efetuar a comparação na distribuição do número de temporais registados nas boias ondógrafo de Leixões e Sines, utiliza uma classificação adaptada da anterior, relatando as ocorrências contínuas ou intercaladas com H_s superior a 5m, mas também com uma duração mínima de 6h. Por conseguinte, o cálculo das

médias de H_s e T_z (período médio da onda) inclui todos os registos de ondulação inferiores a 5m que ocorrem ao longo do temporal, excluindo-se valores isolados superiores a 5m.

Recentemente, analisaram-se as condições de agitação marítima para a Madeira com base nos dados de um período de tempo entre 1996 e 2013. Neste contexto, foi considerado o percentil de 95 para a definição de temporal, enquanto que o percentil de 99 foi utilizado para estabelecer o conceito de temporal de grande magnitude. Estes representam, para a H_s no inverno marítimo, valores de 3,14m e 3,97m respetivamente. Tais valores permitem definir um temporal para a costa da cidade do Funchal com dois graus de magnitude (Silva, 2016).

A importância de uma definição correta de temporal marítimo é inquestionável, não só para a conservação dos sistemas litorais, para a segurança da população e dos seus bens e infraestruturas, mas também para a navegação marítima. Tendo em conta as definições apresentadas, é possível constatar que o limite da H_s para a determinação de um temporal deverá ser adaptado para cada região, consoante os registos de longa data da ondulação.

1.2 - Os perigos costeiros e os temporais

Devido às especificidades das áreas costeiras, a população mundial tem-se fixado ao longo do litoral, procurando aproveitar as vantagens climáticas proporcionadas pelo efeito do oceano, a navegação, os transportes, o comércio, as pescas, a possibilidade de desenvolvimento das atividades de turismo e de lazer (Silva A., 2015). Atualmente, aproximadamente 3 mil milhões de pessoas encontram-se a viver num raio de 200km da linha de costa (Creel L., 2003). Segundo Small e Nicolls (2003) é estimado que 50% da população mundial irá viver a uma distância de 100km da linha de costa até 2050. Por este motivo, as regiões costeiras poderão ser das mais vulneráveis a nível social, económico ou cultural. Os desastres naturais que têm ocorrido frequentemente nestas áreas indicam que as mesmas estão expostas a um grande número de perigos e consequências que poderão afetar a população residente, bens e infraestruturas.

Tendo em vista uma escala global, os perigos costeiros poderão ser diversos, salientando-se: (i) fenómenos de progressão lenta, mas de longa duração, como a subida do nível médio do mar; (ii) persistentes no tempo, como correntes de agueiro e gelo marinho; (iii) e de curta duração, como tsunamis, *storms surge* ou temporais. Muitos destes fenómenos não poderão ser evitados, nem poderá a sua magnitude ser reduzida, no

entanto, as consequências que estes provocam podem ser minimizadas através de sistemas de alerta, de medidas de diminuição da exposição ou do correto ordenamento do território (Ellis *et al.*, 2015). As áreas costeiras também estão expostas a perigos associados à ação antrópica, como é o caso de derrames de petróleo, poluentes relacionados com a navegação ou difusão de poluentes devido a outras atividades antrópicas e a exploração de recursos geológicos e biológicos (Coelho *et al.*, 2006).

No litoral de Portugal existem muitas áreas propensas à ocorrência de perigos costeiros que são diversificados e provocam frequentemente prejuízos. A ocorrência destes fenómenos extremos origina episódios de galgamentos, inundações de áreas ribeirinhas, erosão costeira e destruição de bens materiais, bem como a perda de vidas (Kusky T, 2008; GTL, 2014). Apesar de pouco frequentes, os maremotos também representam um grande perigo para o litoral de Portugal, podendo atingir vastas áreas, principalmente na metade sul do território costeiro continental (Ramos-Pereira, 2004b).

O estudo da ação dos temporais tem demonstrado que estes são responsáveis pela alteração das características morfológicas das praias, erosão costeira e grandes prejuízos sociais e económicos, representando assim um importante perigo para a costa. O grau de vulnerabilidade associado à costa Portuguesa está intrinsecamente ligado à falta de ordenamento do território da área litoral, no entanto, a magnitude e a frequência dos fenómenos perigosos poderá vir a acentuar-se com o decorrer das alterações climáticas que sugerem uma crescente subida do nível médio do mar (Ramos-Pereira, 2004b; e Coelho *et al.*, 2006). Por este motivo, os diversos perigos aqui apresentados têm sido cada vez mais estudados, sendo as suas importância e interesse inquestionáveis, da mesma forma, o estudo dos temporais e das suas consequências também tem crescido. Os temporais têm provocado perdas sociais em diversos campos económicos, como o agrícola ou industrial, afetando tanto os países desenvolvidos como os que se encontram em desenvolvimento, sendo que nos países em desenvolvimento o potencial de ocorrência de risco é superior (Ciavola *et al.*, 2011).

O continente Europeu e, por conseguinte, Portugal ainda carece de uma base de dados referente aos temporais e aos seus impactos na linha de costa, apesar de nalguns casos existirem bases de dados nacionais ou estas estarem em desenvolvimento (Ciavola *et al.*, 2011). Apesar disto, é possível identificar que os últimos anos foram caracterizados por um elevado número de temporais, havendo registos da sua ocorrência e dos danos provocados pelos mesmos tanto nos *media* como no meio científico, sendo de seguida apresentados alguns exemplos. Em 2014, um forte sistema depressionário originou

agitação marítima que afetou o litoral de Portugal e levou a elevados prejuízos materiais em virtude das consequências nas praias, marginais, portos e marinas (Ângela *et al.*, 2014). Um outro evento, e um dos mais destrutivos das últimas décadas em França, ocorreu a 28 de fevereiro de 2010, registando-se as maiores consequências nas áreas urbanas de *Vendée* e *Charente-Maritime* (no litoral oeste da costa) devido a inundações costeiras que provocaram um prejuízo de mil milhões de € e 41 mortos devido às inundações (Chadenas *et al.*, 2014). Ainda, de 23 a 30 de agosto de 2005 o furacão Katrina incidiu sobre a costa este dos EUA, exercendo uma grande influência sobre a hidrodinâmica da costa e provocando ondas com uma altura significativa de 9m, chegando a atingir um pico de 16m (Knabb *et al.*, 2005). Este fenómeno teve grandes consequências nos galgamentos costeiros e na destruição de inúmeras infraestruturas. Também o inverno de 2013/2014 no Reino Unido foi caracterizado por um elevado número de temporais, cuja magnitude, em conjunto com a sua elevada frequência que não oferecia suficiente tempo de recuperação, originou muitos eventos de erosão costeira, destruição de infraestruturas de proteção e inundações de áreas urbanas (Wadey *et al.*, 2015). Este evento foi fortemente sentido em Portugal Continental, havendo um elevado leque de consequências registadas e analisadas por GTL (2014). Dada a existência de inúmeros exemplos contemporâneos de temporais que provocaram graves prejuízos, é essencial uma preparação, por forma a maximizar o potencial de uma resposta de emergência eficiente, minimizando os impactos e prejuízos ambientais e promovendo a recuperação (Ciavola *et al.*, 2011).

As metodologias de investigação utilizadas para a análise destes eventos podem ser bastante diferenciadas, mas podem agrupar-se em dois grandes grupos científicos: (i) o primeiro, onde se insere não só a geografia, mas a maior parte das geociências que recorre a métodos empíricos baseados em trabalho de campo, cartografia, estatística e análise espacial para estudar estes fenómenos; (ii) e o segundo, que compreende a modelação numérica de processos físicos associados às ondas e ao seu efeito na linha de costa. Tendo em conta os métodos utilizados nas geociências, os métodos de avaliação da suscetibilidade e da perigosidade podem ser agrupados em dois conjuntos: técnicas de avaliação absoluta e de avaliação relativa. O primeiro método de avaliação utiliza essencialmente modelos determinísticos, baseados em parâmetros e relações físicas do terreno; o segundo método baseia-se na distribuição das ocorrências e o seu relacionamento com os fatores condicionantes. Os modelos relativos podem ainda subdividir-se nos de cartografia direta e indireta. Dado que muitas vezes o trabalho de

campo e a análise dos processos do fenómeno em estudo não são possíveis, carregando também um significativo valor subjetivo, são frequentemente utilizados métodos de cartografia indireta. Esta é sustentada pelos fatores que condicionam os fenómenos perigosos, estandardizando as técnicas de aquisição, procedimento, análise e representação e proporcionando a construção de modelos. A análise estatística relaciona os fatores que condicionam os fenómenos passados e presentes através de uma função paramétrica empírica, possibilitando a predição quantificada e objetiva da suscetibilidade (Garcia e Zêzere, 2003). Ainda que exista um detalhado estudo da forma como os sistemas reagem a perturbações, a avaliação da exposição da costa tem sido difícil de determinar, uma vez que esta análise pode ser classificada de acordo com diferentes aspetos e os limites entre as classes não estão estritamente definidos (Di Paola *et al.*, 2011). A maior parte dos métodos utilizados são baseados na construção de índices que permitem a combinação de diferentes variáveis. Este tipo de índices constitui uma ferramenta útil para a simplificação dos fenómenos, permitindo a sua categorização e o estabelecimento de relações que facilitem a análise (McLaughlin *et al.*, 2002). O estudo da exposição da área costeira necessita da introdução de variáveis morfológicas e ecológicas, da ocupação humana e das suas atividades socioeconómicas, das tendências presentes e futuras da linha de costa, de bases de dados sobre os eventos perigosos que ocorreram e do conhecimento dos padrões da ondulação, da sua ocorrência e da distribuição dos seus valores extremos (Anfuso e Martinez, 2009; McLaughlin e Cooper, 2010; Rangel-Buitrago e Anfuso, 2015).

Para a representação dos cenários de ondulação extrema, são utilizados modelos numéricos capazes de simular condições de agitação marítima na proximidade da costa (Seenath *et al.*, 2016). Estes modelos permitem a caracterização da ondulação conforme a sua aproximação da linha de costa, representando as suas alterações conforme as condições batimétricas. Este método tem sido aplicado com sucesso em estudos de dimensionamento de estruturas costeiras ou operações de navegação (Thomas e Dwarakish, 2015). No entanto, apesar de a ondulação ser o fator desencadeante dos temporais e, assim, o mais importante para a sua ocorrência e distribuição, apenas a utilização desta variável não é suficiente para a análise da perigosidade da costa, dado que as condições físicas da costa podem não ser favoráveis à ocorrência de consequências em caso de temporais. Por isso, recorre-se frequentemente à modelação numérica de processos físicos para a obtenção da distribuição das ondas na proximidade da costa e

para a inserção desta variável num índice mais complexo com variáveis diversificadas (Silva *et al.*, 2017; Rangel-Buitrago e Anfuso, 2015).

Para a caracterização das condições de agitação marítima, cujos dados são indispensáveis para a avaliação de temporais, era frequente a utilização dos dados das boias ondógrafo que apenas permitem a análise de informação pontual e ao largo da costa. Segundo a caracterização da agitação marítima da Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2013a) referente a áreas junto à costa, as características da ondulação junto à costa são bastante diferentes quando comparadas a áreas ao largo da mesma. A interação das massas de água com o fundo irá promover a ocorrência de diversos processos, identificados no quadro 1, que irão fornecer características locais à agitação marítima.

Quadro 1 – Processos que atuam sobre as ondas conforme a sua aproximação à costa; Fonte: Martins, 2012

Processo	Descrição
Empolamento (<i>shoaling</i>)	Propagação das ondas de largo para áreas de decrescente profundidade, permitindo o crescimento da altura da onda.
Refração	Quando uma onda passa por uma área de profundidade intermédia, a secção da onda que se encontra na área mais profunda desloca-se a uma velocidade superior à da secção da onda que se encontra na área menos profunda, levando a crista da onda a assumir uma posição quase paralela à batimetria. As alterações na velocidade da deslocação da onda poderão provocar este efeito.
Difração	Ocorre a sotamar de um obstáculo, pois o mesmo leva a energia a propagar-se ao longo da crista da onda. Assim, as ondas afetam a água a sotamar de uma estrutura, apesar de terem uma dimensão reduzida.
Dissipação devido à fricção do fundo	Dissipação da onda devido à interação com o fundo, proporcionada pelo aumento do atrito entre a massa de água e o fundo da costa e pelo movimento dos sedimentos.
Dissipação devido à percolação	Este fenómeno ocorre devido ao decréscimo de energia induzido pela escorrência da água pelos poros de fundos arenosos.
Rebentação	Instabilidade hidrodinâmica favorecida pelo decréscimo da profundidade na direção da propagação, levando ao desequilíbrio da onda e à sua rebentação.
Interação ondas-correntes	A rebentação das ondas na proximidade da costa é um dos processos mais importantes para o desenvolvimento de correntes perto da costa,

	que posteriormente são responsáveis pelo transporte de sedimentos ao longo do litoral.
Interação ondas-ondas	Este é um dos mecanismos que afeta o crescimento das ondas. Com a interação das ondas ocorrem processos de transferência de energia entre as mesmas, permitindo alterar algumas das suas características. O somatório da energia de todas as ondas seria o mesmo, apesar de algumas terem perdido energia e outras recebido
Run-up	Nesta fase termina o processo de dissipação da onda. Inicialmente é caracterizada pelo espraio da onda e pelo seu refluxo (dependente da força gravitacional e do perfil de praia). Este processo é essencial para a troca de sedimentos entre a praia emersa e submersa, mas também para a resposta da praia às alterações do mar e da ondulação. Depende não só das características da onda, mas também do declive da costa.

A análise das condições da ondulação na proximidade da costa é indispensável para o estudo das áreas de maior exposição a temporais. Neste ponto, surge a necessidade da modelação numérica dos processos físicos, através da qual, modelos calibrados e validados permitem otimizar os custos das medições e das monitorizações, bem como expandir o conhecimento para áreas onde não existiam medições (Bento *et al.*, 2010).

A modelação de ondas do mar junto à costa é realizada através do modelo *SWAN* (*Simultion WAves Nearshore*), sendo este um modelo espectral de alta resolução que simula a propagação da ondulação em águas de baixa profundidade (Booij *et al.*, 1999). Este modelo, a partir da batimetria, condições de fronteira e campos de ventos pretende obter estimativas realistas da ondulação em águas de baixa profundidade. No processo de propagação de ondas consideram-se os seguintes parâmetros: propagação; refração por efeito do fundo e correntes; difração de ondas; *shoaling* por efeito do fundo e correntes; bloqueio e reflexão devido a correntes contrárias; transmissão através de obstáculos ou bloqueio ou reflexão devido aos mesmos. Para a formação e dissipação das ondas são considerados os seguintes processos: geração pelo vento; dissipação por *whitecapping*; dissipação por rebentação devido a efeitos de batimetria; dissipação por atrito no fundo; e dissipação por interação onda-onda em águas profundas e pouco profundas (Bento, *et al.*, 2010; Ribeiro *et al.*, 2009). Este modelo será descrito mais detalhadamente no capítulo 4.4 – Modelação hidrodinâmica de temporais.

O modelo *SWAN* foi largamente utilizado em projetos e investigações internacionais e nacionais. Para o estudo do risco associado a temporais, Rangel-Buitrago

e Anfuso, (2015) utilizam este modelo para a previsão da ondulação na proximidade da costa e obtenção das suas características, de forma a incorporar a informação para o cálculo do risco associado a temporais nas áreas de Cádiz e Cartagena. Huang *et al.*, (2012) utiliza o mesmo modelo para o estudo da ondulação na área costeira do Golfo do México sob o efeito de furacões. Rogers *et al.*, (2006) descreve o sistema de previsão de agitação marítima da Baía da Califórnia do Sul, onde este modelo é utilizado. Gorrell *et al.*, (2010) estuda a capacidade de análise da ondulação junto à costa em áreas de batimetria complexa, através da utilização do SWAN, concluindo que este modelo prevê corretamente a evolução das ondas até à costa e os seus parâmetros médios, existindo problemas nos resultados das transferências não-lineares de energia que alteram a forma e o crescimento das ondas. Em termos nacionais, Silva *et al.*, (2009) descreve o sistema de previsão de agitação marítima do Instituto Hidrográfico, que consiste na utilização do SWAN para a modelação da ondulação na proximidade da costa. O estudo do sistema de previsão para o Arquipélago da Madeira também é desenvolvido segundo o modelo SWAN (Ruso *et al.*, 2008). Sampaio (2008) estuda a aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na área adjacente a Pinheiro Cruz e conclui que o modelo simula as condições do mar com uma precisão que está de acordo com os valores típicos para este tipo de modelos. Capitão e Fortes, (2011) realizam a comparação entre as estimativas do SWAN e as medições de agitação marítima efetuadas na praia da Amoreira (Aljezur) para os parâmetros de altura significativa da onda, período de pico e período de pico médio. Os resultados deste trabalho confirmam a confiança na utilização deste modelo para estudos de morfodinâmica e dinâmica costeira. Assim, e de acordo com os trabalhos apresentados, pode constatar-se que este modelo é utilizado em diversas investigações, sendo o seu valor reconhecido e validado por diversos estudos.

Num cenário de alterações climáticas, com aumento do nível médio do mar e da altura das ondas, a linha de costa irá sofrer grandes impactos em termos de erosão e inundações, especialmente em áreas de baixa altitude que poderão desaparecer parcialmente ou por completo (Hanson e Larson, 2008). O estudo da exposição permite a identificação das áreas mais afetadas pelos temporais, proporcionando material para a investigação da sua capacidade adaptativa ao fenómeno. É importante o estudo das variáveis físicas, socioeconómicas, das áreas de conservação prioritárias e culturais. A grande quantidade de informação e diversidade de variáveis necessárias para o estudo de temporais necessita de uma metodologia organizada, de forma a expor todas as relações entre os fenómenos perigosos e os elementos expostos. A determinação da suscetibilidade

e da perigosidade são um instrumento importante para os gestores do território, por forma a promover a preservação e o desenvolvimento correto e sustentável das áreas costeiras.

De modo a sintetizar os diferentes conceitos associados ao estudo, não apenas de temporais, mas também de uma grande diversidade de perigos é apresentado o quadro 2 com as terminologias usadas.

Quadro 2 – Terminologia associada ao risco; Fonte: Julião *et al.*, 2009.

Conceito	Definição
Perigo (<i>Hazard</i>)	Processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto suscetível de produzir perdas dos processos e ações naturais, e danos identificados.
Suscetibilidade (<i>Susceptibility</i>)	Incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, sobretudo nos casos dos processos em tempo indeterminado, sendo avaliada naturais e mistos identificados. através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência
Perigosidade (<i>Probability of the Hazard</i>)	Probabilidade de ocorrência de um processo ou ação (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade, numa dada área e num dado período de tempo.
Risco (<i>Risk</i>)	Probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos.

1.3 - Indicadores de perigosidade associados a temporais

As inundações costeiras, provocadas por temporais, são eventos perigosos, dispendiosos e mortíferos, propiciando galgamentos de áreas costeiras e ondulação capazes de destruir infraestruturas, habitações e propriedades e ameaçar a saúde da população e a sua vida (Orton *et al.*, 2014). De forma a minimizar as suas consequências, foram desenvolvidas diversas metodologias para a análise da exposição da costa a temporais. Este é um processo que necessita de muitas variáveis, sendo que, entre os diversos métodos, as variáveis utilizadas nem sempre são idênticas. Diferentes autores a nível nacional e internacional desenvolveram metodologias para a análise da suscetibilidade e da perigosidade e até de índices mais desenvolvidos, como a vulnerabilidade e o risco. O quadro 3 apresenta os autores que analisaram a exposição da costa aos diversos perigos aos quais esta está exposta e as diferentes variáveis utilizadas.

Quadro 3 – Análise da exposição da costa a diversos perigos segundo autores nacionais e internacionais com as respetivas variáveis.

Autores	Perigos analisados	Variáveis utilizadas
Rangel-Buitrago e Anfuso, (2015)	Risco de temporais	Costa arenosa – altura das dunas; % de <i>washovers</i> ; largura da praia seca; declive Costa rochosa – litologia; estruturas; declive; taxas de erosão. Processos forçadores – altura significativa da onda; <i>storm surge</i> ; exposição da costa; amplitude de marés. Adicionam fatores socioeconómicos, culturais e ecológicos.
Abuodha e Woodroffe, (2006)	Vulnerabilidade da costa às alterações climáticas	Altura das dunas; tipo de barreira; tipo de praias; alterações do nível médio do mar; taxas de erosão acreção; amplitude de marés e altura das ondas.
Coelho <i>et al.</i>, (2006)	Vulnerabilidade da costa às dinâmicas e erosão costeiras	Altitude; distância à costa; amplitude de marés; altura máxima da onda; taxas de acreção/erosão; geologia; geomorfologia; ocupação do solo; ações antropogénicas.

Moritz e Moritz, (2006)	Avaliação da energia de temporais extremos	Altura máxima da onda; duração do temporal; período da onda; direção da onda; <i>storm surge</i> ;
<i>Kinetic Analysis Corporation, (2013)</i>	Perigosidade a temporais	Altitude; batimetria; ocupação do solo; dados históricos de temporais na área; dados do campo de ventos; dados da ondulação; <i>storm surge</i> .
Trindade e Ramos-Pereira, (2013)	Suscetibilidade a inundação e erosão em praias	Fatores condicionantes – sub-sistemas costeiros associados; exposição; altimetria e planimetria; declive da praia e presença de berma. Perigos desencadeantes – temporais; <i>storm surge</i> ; <i>run-up</i> ; preia-mar de águas vivas

Apesar de estas variáveis serem diversificadas e utilizadas para o estudo de diversos perigos costeiros e não apenas de temporais, pode verificar-se que existe repetição de algumas delas, consideradas indispensáveis para o desenvolvimento da metodologia. Assim, são utilizadas variáveis que permitem: caracterizar diferentes sistemas que, tendo em conta os fatores condicionantes e forçadores, devem ser representativas da hidrodinâmica marinha e da energia que incide sobre a costa; interpretar as tendências da linha de costa e das praias; incorporar as estruturas morfológicas e sedimentológicas, as tendências de ocupação do solo e a intervenção antrópica.

A altura significativa das ondas sobre a costa é representativa da energia que incide sobre a mesma, estando também diretamente relacionada com o potencial de transporte sedimentar. A inundação proporcionada pela ondulação depende, não só das características das ondas, mas também da altura das marés, da sobrelevação meteorológica da maré, do nível de *run-up*, do declive da praia e da presença de bermas (Trindade e Ramos-Pereira, 2013). As dinâmicas costeiras são muito bem representadas pelas taxas de erosão/acreção e pelos seus registos históricos, indispensáveis para a previsão da futura evolução da costa sobre determinados cenários. A análise da litologia fornece informação sobre a natureza das rochas e dos sedimentos, pois a ação do mar será minimizada em rochas de elevada dureza (magmáticas ou metamórficas). A geomorfologia da costa representa uma variável importante, sendo feita a distinção entre praias, dunas ou arribas. A ocupação do solo ou intervenções humanas podem influenciar

as dinâmicas da costa, as drenagens em canais de navegação, extração de inertes, urbanização em áreas dinâmicas e destruição de dunas, que poderão aumentar a exposição da costa aos temporais e as consequências associadas a este (Coelho *et al.*, 2006).

1.4 - Os temporais no litoral de Portugal continental

A costa Atlântica de Portugal é afetada por dois tipos de tempestade – as subtropicais e as extratropicais. As subtropicais (provenientes do quadrante sudoeste), geradas em zonas tropicais, transportam massas de ar quente e caracterizam-se por centros de baixa pressão. Não têm sistemas frontais associados e os ventos fortes encontram-se mais longe do centro. São sistemas cavados que podem gerar sobrelevação meteorológica do nível médio do mar, atingindo a costa da Península Ibérica de sudoeste. Já as tempestades extratropicais desenvolvem-se nas latitudes médias e são caracterizadas por um núcleo frio, ventos fortes que provocam agitação marítima de elevada energia e chuvas moderadas a torrenciais. Estes desenvolvem-se de oeste para este. Assim, a sobrelevação meteorológica e a forte agitação marítima são os eventos extremos provocados por estas situações (Antunes, 2014). Também deverá ser referida a influência da Oscilação do Atlântico Norte (N.A.O.) cujo aumento dos valores positivos do índice induz uma circulação atmosférica à superfície mais intensa, promovendo assim existências de áreas de varrido oceânico mais extensas. Durante as fases positivas da N.A.O. são verificados valores de H_s superiores na boia de Leixões e direções significativas predominantes de NO. Pelo contrário, as fases negativas estão relacionadas com ondas de O (Trindade, 2010).

Existem várias investigações que se têm dedicado ao estudo de temporais na costa de Portugal, que têm recorrido à utilização de dados das boias ondógrafo para a sua caracterização.

Inicialmente, Pita e Santos, (1989) analisaram o período temporal de 1956 a 1987, registando 97 temporais para Portugal Continental. Já nesta altura se verificou que a sua predominância ocorria durante o inverno marítimo, 94,8% dos casos. Em 1994, Costa, através da análise dos dados das boias da Figueira da Foz (1990 - 1993) e de Sines (1988 - 1993), conclui que dezembro era o mês no qual ocorria a maior parte dos temporais, sendo em Sines predominantes ondas de ONO e na Figueira da Foz de NO. Através de estudos de Costa *et al.*, (2001), é feita a análise das boias da Figueira da Foz (1990 -

1996), de Sines (1988 - 2000) e de Faro (1988 - 2000). Neste estudo os temporais são classificados aquando da verificação de uma H_s superior a 4,5m na costa oeste e a 3,5m na costa sul de Portugal, confirmando-se assim a importância do inverno marítimo para o estudo dos temporais. Na Figueira da Foz 58% dos temporais são provenientes de NO e 13% de O, – nesta região não são raros os temporais que atingem mais de 7m. Tal como no primeiro caso, na costa de Sines a maioria dos temporais têm uma direção de NO (42%), enquanto que 26% são de O. A hidrodinâmica da costa sul de Portugal tem características diferentes – o padrão sul destaca-se com 36% das observações e o SO com 14%. Na região sul os dados permitiram registar alturas significativas máximas entre os 3m e os 5m. Tendo em conta dados mais recentes, Trindade, (2010) analisa os dados do período temporal entre 2004 e 2007 das boias ondógrafo de Leixões e de Sines, verificando que existe uma grande diferença no número de temporais entre as duas boias, possuindo a primeira cerca de 3 vezes mais episódios extremos. Assim, é evidente o contraste regional da distribuição dos temporais, mais frequentes e severos no norte do litoral ocidental de Portugal. No decorrer do estudo sobre a vulnerabilidade à erosão na costa ocidental da península de Setúbal, Sousa, (2015) analisa detalhadamente os dados do projeto *micore – morphological impacts and coastal risks induced by extreme events*, cujo resultado forneceu um modelo regional de ondulação de nordeste do oceano Atlântico para os últimos 56 anos (Período temporal entre 1953 – 2009). Para a realização deste relatório foram utilizados os dados relativos a Sines (coordenadas 37° 55' 12"N; 8° 55' 48"W), dada a inexistência de uma boia mais próxima (Dodet, *et al.*, 2010; Sousa, 2015). Assim, registaram-se 409 ocorrências (91,20% no inverno marítimo) com uma duração média de 85h. A H_s média encontra-se estabelecida a 5,08m, sendo que os temporais são, em 65,18% das vezes, provenientes de NO. Dado que a análise dos dados ocorre desde o início dos anos 50, a distribuição dos temporais por década está presente na figura 1.

Décadas	N.º de ocorrências	Duração (h)			H_s (m)		T_s (s)			D_s (ºN)
		Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Mín.	
Déc. 1950	36	106,67	294	36	5,14	8,71	11,66	16,20	8,12	NW 292,50 - 337,50 (72,22%)
Déc. 1960	86	79,19	204	12	5,02	9,03	11,24	17,65	7,29	NW 292,50 - 337,50 (55,81%)
Déc. 1970	70	94,37	270	30	5,17	13,27	11,35	16,53	7,68	NW 292,50 - 337,50 (71,43%)
Déc. 1980	68	77,47	270	30	5,18	10,43	11,79	16,30	8,31	NW 292,50 - 337,50 (72,06%)
Déc. 1990	77	81,27	276	24	4,98	9,57	11,65	16,54	7,81	NW 292,50 - 337,50 (76,62%)
Déc. 2000	72	82,25	300	30	5,07	8,93	11,43	17,34	7,91	NW 292,50 - 337,50 (62,50%)

Figura 1 – Distribuição dos temporais e respetivos parâmetros segundo os dados de modelação do projeto *micore* para Sines; Fonte: Sousa, 2015.

Assim, conclui-se que a ocorrência de temporais em Portugal é bastante frequente. A sua distribuição é dispersa ao longo de todo o litoral ocidental e meridional de Portugal, podendo ser encontradas diversas regiões onde é frequente a incidência de temporais com consequências por vezes graves e dispendiosas. Podem identificar-se três regiões onde a incidência de temporais é mais frequente – o litoral ocidental norte, onde se destacam frequentemente temporais em Caminha, Moledo, Esposende, Matosinhos, Vila Nova de Gaia, Esmoriz, Ovar, Aveiro e Leiria, entre outras menos vezes referenciadas; mais a sul, nas penínsulas de Lisboa e de Setúbal também se verificam frequentemente consequências devido a temporais em Sintra, Cascais, Oeiras, Costa da Caparica, Sesimbra e Setúbal; e no extremo sul de Portugal, onde também é frequente a ocorrência deste tipo de eventos em Sagres, na Ilhas de Faro, da Fuzeta, em diversas praias de Albufeira, Portimão e Silves.

As consequências dos temporais são diferenciadas através dos diversos aspetos da costa, nomeadamente as variáveis morfológicas, as hidrodinâmicas e as antrópicas e muitas vezes os prejuízos que causam necessitam de avultosas quantias monetárias para a sua reparação. Assim, a análise do conjunto das consequências e dos prejuízos justifica a necessidade do estudo de temporais. Estas consequências poderão ser agrupadas em várias classes – consequências no ambiente, no meio antrópico e nas atividades económicas. Desta forma, as principais consequências relacionadas com o meio ambiental estão associadas à erosão do litoral, rochoso e principalmente arenoso, que têm levado ao avanço do mar em direção à terra, nas áreas arenosas e de menor altitude, e a movimentos de vertentes nas áreas rochosas (de arribas). Tem-se verificado que a forte ondulação também tem originado o rompimento de cordões dunares. Em termos de consequências antrópicas é possível identificar uma elevada variedade de situações. No

decorrer dos temporais é frequente a destruição de estabelecimentos de apoio a praias (bares e restaurantes, mas também as infraestruturas do Instituto de Socorro a Náufragos), de passeios e caminhos de acesso à praia, danificação de paredões e esporões e de outras estruturas de proteção da costa. Quando um temporal leva a galgamentos em áreas de litoral muito antropizado, ocorrem frequentemente situações de interrupção de estradas, inundações de habitações e de áreas comerciais, sendo também possível o ferimento ou morte de pessoas que se encontrem na proximidade do mar, frequentemente em atividades de pesca. No mar, é possível a ocorrência de naufrágios, bem como de danos nos barcos ou em material de pesca. O conjunto das consequências averiguadas anteriormente afeta sempre o meio económico e estas são, por vezes, muito difíceis de estimar. A interrupção de uma estrada ou o naufrágio de um navio não têm apenas o custo direto de reparação do objeto, mas também os custos absorvidos pelas pessoas que no período temporal até a reparação não têm trabalho (no caso de um naufrágio) ou necessitam de se dirigir por estradas secundárias (no caso da estrada interrompida). A persistência de um temporal também afeta a atividade pesqueira diretamente, dado que os pescadores nem sempre podem exercer o seu trabalho ou, se o fizerem, correm maior perigo de vida.

De forma a dar resposta ao elevado número de temporais e à ação do mar sobre a costa, foram construídas diversas estruturas de proteção da costa. Entre 1995 e 2014, no território de Portugal Continental foram despendidos 196M€ em estruturas de proteção costeira. Analisando a distribuição dos investimentos, é possível averiguar que o concelho de Almada foi o que obteve a maior número de financiamentos, com cerca de 18,8%, essencialmente devido às obras realizadas na Costa da Caparica (GTL, 2014). Podem ser fornecidos alguns exemplos de temporais que afetaram fortemente a costa, deixando prejuízos como a destruição das dunas em Caminha (18/02/2014) que necessitou de uma reparação num valor total de 150 000€, enquanto que a reparação do paredão de Cascais necessitou de um investimento de 700 000€. O mesmo temporal em Gaia levou a galgamentos de estradas, estabelecimentos, erosão do litoral e destruição de passeios pedonais, sendo o valor da reconstituição deste prejuízo estimado em 2 milhões de €. A erosão do litoral ocidental da península de Setúbal levou à necessidade de atuação sobre esta costa. Assim, no período entre 2004 e 2006, na região entre a Cova do Vapor e a Costa da Caparica foi iniciada a primeira fase deste processo que teve um custo de 8 200 000€ no decorrer de 20 meses. Ocorreu o reperfilamento dos esporões existentes e da obra aderente existente na frente urbana. A segunda fase (em 2007) teve como objetivo a

alimentação artificial das praias e das dunas e a reabilitação da frente marinha, chegando a um valor de 2 900 000€ (Veloso-Gomes *et al.*, 2007b).

O estudo das áreas de maior exposição a temporais, das suas consequências e dos valores monetários a elas associados permite concluir que o estudo dos mesmos é essencial, proporcionando medidas de gestão do território que possibilitem a sua mitigação.

1.5 - Sinopse

Os temporais extremos são dos fenómenos costeiros mais dinâmicos, levando frequentemente a alterações costeiras. Na costa ocidental de Portugal, onde se localiza a área de estudo desta dissertação, um temporal ocorre quando a H_s ultrapassa os 5m. Diversos autores têm estudado este fenómeno, evidenciando as suas características. Através da análise destes estudos é possível verificar que estes são essencialmente provenientes de NO, sendo um fenómeno frequente e capaz de causar danos severos a nível económico e social. São identificados diversos locais na costa ocidental portuguesa onde a incidência de temporais é frequente, sendo as áreas da Costa da Caparica, Cascais e Oeiras frequentemente afetadas. As metodologias utilizadas para a análise de temporais são diversas, sendo comum a utilização de variáveis que possibilitam descrever os cenários de agitação marítima extrema, as características físicas da costa e a presença de estruturas antrópicas.

É assim justificada a importância deste estudo que examina um fenómeno extremo frequente e que provoca graves consequências, procurando determinar as áreas com maior perigosidade para a sua ocorrência e proporcionando dados para o ordenamento do território e para a proteção da população.

Capítulo 2 – Enquadramento temático e objetivos da dissertação

2.1 - Enquadramento temático da dissertação

A importância ambiental e económica das áreas costeiras é amplamente reconhecida. O aumento da procura e da ocupação das áreas litorais tem contribuído fortemente para o aumento das suas fragilidades. A análise dos fenómenos perigosos associados às áreas costeiras tem aumentado de interesse com um contexto global de alterações climáticas e consequente subida do nível médio do mar. Em Portugal tem-se verificado um significativo avanço no estudo destes processos, sendo os temporais um dos eventos perigosos estudados, que devido à sua magnitude provoca grandes alterações na morfologia da costa, mas também graves consequências económicas e sociais através de galgamentos costeiros, inundações, erosão, perda de propriedades e de vidas humanas. Neste contexto, a avaliação das áreas mais afetadas pelos temporais será essencial para a gestão e o ordenamento do território, permitindo a redução das consequências destes eventos perigosos. Verificando-se o registo de um elevado número de temporais na boia de Sines, através dos dados do projeto *micore* por Sousa (2015), propôs-se a avaliação e modelação dos temporais extremos, obtendo-se a distribuição espacial da agitação marítima até à linha de costa. Esta avaliação da incidência dos temporais na costa foi o primeiro passo para a análise da perigosidade. Para a realização deste processo utilizaram-se os *softwares* *WaveWatch III* e *SWAN*, ambos reconhecidos como modelos de terceira geração para a modelação de ondas. A utilização de modelação numérica de processos físicos é relevante para o trabalho, pois permite a expansão de dados pontuais para áreas contínuas e mais corretas, dada a sua modelação para a proximidade da costa. A intensidade e a frequência de ocorrência de determinados fenómenos perigosos tem sido de extremo interesse para a gestão do litoral, sendo o estudo dos períodos de retorno da ondulação essencial para a proteção da população. A análise dos valores extremos da série de dados é essencial para a dinâmica das praias, erosão costeira e galgamentos.

Dada a existência de diversos métodos para a análise da perigosidade da costa, terá de ser efetuada uma ponderação das variáveis importantes para a construção de um índice de perigosidade costeira. É fundamental a adaptação das variáveis para a área de estudo, a fim de se obter um resultado representativo das áreas de maior perigosidade associada a temporais marítimos.

2.2 - Objetivos

De acordo com os dados apresentados, é proposto o conjunto de objetivos associados ao estudo dos temporais na área, objetivos estes que são representativos das consequências reais que os temporais têm na costa, definindo as suas características e as áreas mais afetadas. Estes objetivos foram então divididos em objetivo geral, que pretende representar o resultado final do trabalho, e um conjunto de objetivos específicos, que resultam da evolução da investigação e dos resultados que dela advieram.

- Objetivo geral: Análise da perigosidade da linha de costa a temporais no litoral Cascais-Espichel.
- Objetivos específicos:
 - a) Determinar a incidência dos temporais através das suas consequências no litoral;
 - b) Determinar a distribuição espacial dos parâmetros morfológicos, hidrodinâmicos e antrópicos associados a temporais (Modelação *SWAN* e informação espacial [SIG]);
 - c) Avaliar a importância relativa dos fatores associada à incidência dos temporais (danos e distribuição dos parâmetros fisiográficos e hidrodinâmicos);
 - d) Determinar períodos de retorno para temporais de elevada energia hidrodinâmica;
 - e) Avaliar a distribuição espacial de temporais excecionais em vários cenários e períodos de retorno (*SWAN*).
 - f) Construir um indicador de perigosidade a temporais.

2.3 - Estrutura da dissertação

O Capítulo 1, referente ao Estado da Arte, permite a análise dos estudos presentes sobre os temporais, analisando a definição do conceito utilizado, a sua problemática e importância. São posteriormente expostas as principais metodologias na análise deste fenómeno, referindo autores, métodos e variáveis utilizadas. Também é analisado o caso de Portugal Continental, definindo as principais incidências dos temporais, as suas magnitudes e consequências na costa, verificando-se que o estudo deste perigo no setor litoral de Cascais ao Cabo Espichel é de elevada relevância. O Capítulo 3 – Área de Estudo, apresenta as diferentes componentes da área que são essenciais para a análise da incidência de temporais, tendo em atenção as características geomorfológicas emersas e

imersas da área, as exposições da costa, as urbanizações existentes e as características da hidrodinâmica marinha. Todas estas características serão essenciais para a análise da incidência dos temporais, fazendo variar a perigosidade da costa. O capítulo 4 – Fontes, Técnicas e Métodos inicia-se com a apresentação de todos os dados utilizados ao longo da realização deste trabalho, referindo não apenas a fonte dos mesmos, mas também a sua descrição, resolução/escala e problemas e dificuldades que poderão oferecer. Esta secção do trabalho pretende esclarecer todos os problemas metodológicos associados à compilação das malhas para os modelos, o funcionamento dos *softwares* *WAVEWATCH III* e *SWAN*, das formas de validação dos resultados obtidos e do estudo dos parâmetros associados aos modelos. Neste capítulo são também explicados os métodos utilizados para a análise da distribuição e previsão dos valores extremos. Por fim, é feita a síntese da composição do indicador de perigosidade a temporais nesta área. O Capítulo 5 - Os temporais no arco Caparica – Cabo Espichel pretende sintetizar os resultados da modelação dos temporais analisados e a verificação dos pontos de maior incidência de temporais segundo os registos do Diário de Notícias entre 2000 e 2015. Neste capítulo procedeu-se à análise dos resultados do método *EVD* (*Extreme Values Distribution*), utilizado para a avaliação e previsão de extremos, verificando assim os períodos de retorno da onda de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. No final deste capítulo é apresentado o resultado da análise da perigosidade associada a temporais entre Cascais e o Cabo Espichel, obtendo-se a resposta do objetivo principal da dissertação. Assim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões retiradas desta dissertação. São ainda apresentadas as referências bibliográficas e os anexos que apresentam os diferentes ficheiros utilizados para fazer correr os *softwares* referidos.

Capítulo 3 – Área de estudo

3.1 – Delimitação da área de estudo

A área em estudo localiza-se nas áreas litorais meridional da península de Lisboa (Cabo Raso a Algés) e ocidental da península de Setúbal (Trafaria ao Cabo Espichel) (figura 2), frequentemente expostas à incidência de temporais, mas também com características específicas associadas a extensas áreas arenosas, de arribas e outras áreas fortemente antropizadas.

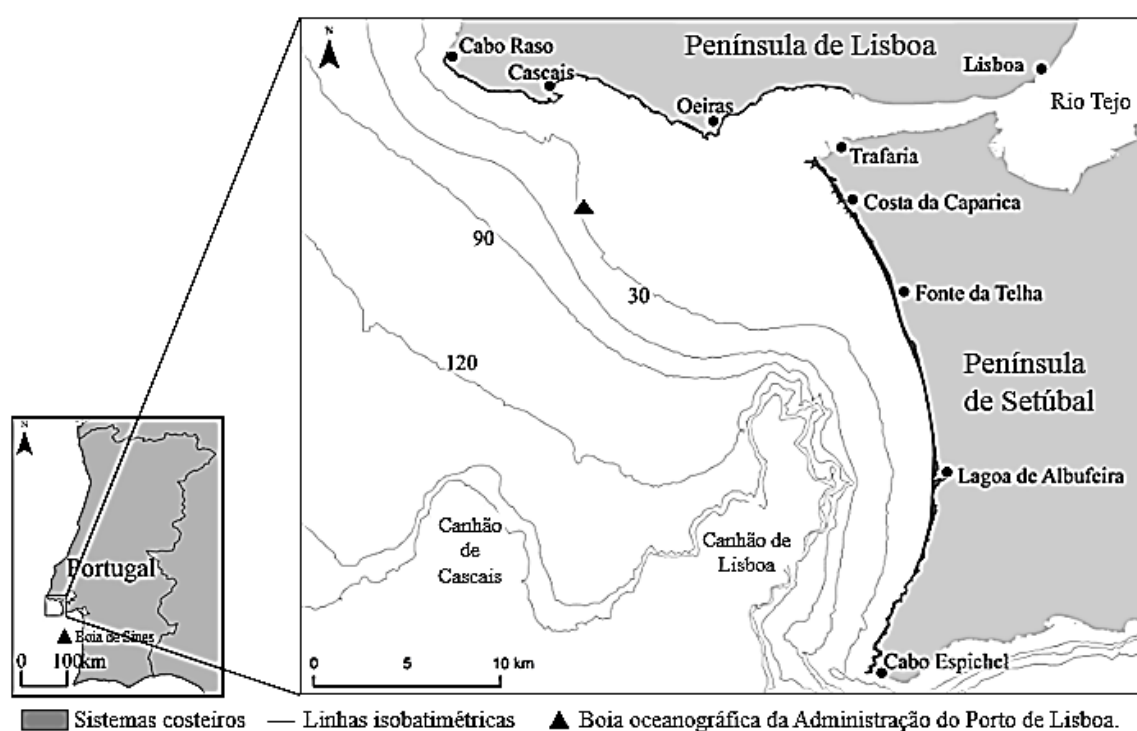


Figura 2 – Enquadramento geográfico da área de estudo, arco litoral do Cabo Raso ao Cabo Espichel, com os sistemas costeiros identificados.

Nos limites da área de estudo inclui-se a orla costeira na parte emersa e a zona costeira na imersa (Veloso-Gomes *et al.*, 2007a), até aos 500m de distância horizontal e incluindo assim a faixa de transformação das ondas de temporal. A incidência de temporais não é espacialmente uniforme, pelo que se torna necessário distinguir os diferentes sistemas costeiros e, dentro dos mesmos, as áreas que podem ser afetadas por este fenómeno extremo. Os limites da área de estudo são definidos segundo os seguintes critérios, representados na figura 3:

- a) entre a linha de costa e a distância horizontal perpendicular de 500m. Este setor desenvolve-se paralelamente à linha de costa com uma distância total de aproximadamente 79km. Tem uma exposição geral para sul na península de Lisboa e para oeste na península de Setúbal;
- b) pela presença de sistemas litorais arenosos, entre a linha de costa e o limite da duna cinzenta. O sistema praia-duna encontra-se exposto a oeste, pois desenvolve-se na península de Setúbal. Também se verificam diversos setores com litorais arenosos na península de Lisboa, essencialmente para sul ou sudoeste. Este setor é o que apresenta a maior extensão, com um total de ≈ 30 km. A duna cinzenta marca o fim da área de estudo, visto que esta poderá ser afetada por temporais extremos (Davidson-Arnot, 2010).
- c) pela presença de sistemas litorais rochosos baixos ou altos, entre a linha de costa e o topo da arriba. A diferenciação de sistemas litorais baixos ou altos era realizada através de um limite de 13m, uma vez que este era o valor mais elevado de H_s verificado nos temporais extremos;
- d) pela presença de sistemas litorais predominantemente artificializados, entre a linha de costa e o limite do primeiro quarteirão de habitações, estruturas de apoio ou infraestruturas.

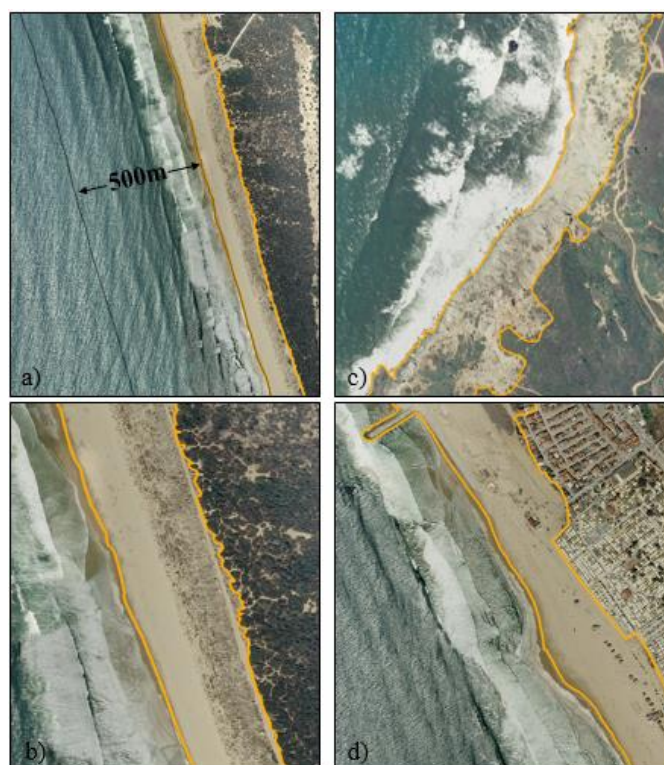


Figura 3 – Exemplificação da delimitação dos sistemas costeiros através dos critérios descritos previamente.

A delimitação dos sistemas costeiros, através dos critérios referidos anteriormente, permitiu o estabelecimento das áreas que podem ser afetadas por temporais. No entanto, devido à elevada extensão da área de estudo, diferentes tipologias de sistemas foram identificadas, sendo que a sua diferenciação permite distintas respostas em caso de ocorrência de temporais. Foram assim identificados cinco tipos de sistemas principais (Figura 4): *i*) sistema arenoso – que se desenvolve em áreas de praia-duna ou por vezes com ocupação do solo. Encontra-se maioritariamente presente na península de Setúbal, mas também dispersamente ao longo da linha de costa na península de Lisboa; *ii*) o sistema praia-arriba – que apesar de ser maioritariamente arenoso possui a montante a presença de arribas que permitem uma superior proteção da costa em caso de temporais; *iii*) o sistema rochoso baixo – constituído por arribas com uma altura inferior a 13m e que, devido à maior consolidação dos seus constituintes, oferece maior proteção à costa; *iv*) o sistema rochoso-elevado – tal como o anterior é constituído por arribas, sendo caracterizado pelas arribas com altura superior a 13m, que localizam-se essencialmente no extremo sul da península de Setúbal; *v*) sistema artificializado – constituído por estruturas antrópicas que forneçam alterações à linha de costa, essencialmente marinas, portos ou infraestruturas pesadas de proteção costeira. Todos estes sistemas encontram-se detalhadamente caracterizados no capítulo 3.2 (Análise geomorfológica e tipologia dos sistemas litorais) e apresentados no mapa da figura 4.

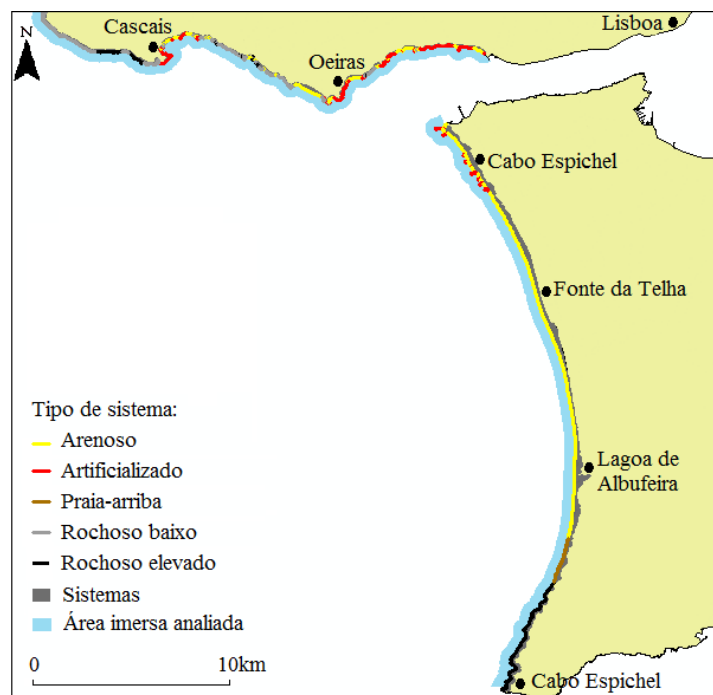


Figura 4 – Descrição da tipologia de sistemas costeiros presentes na área de estudo.

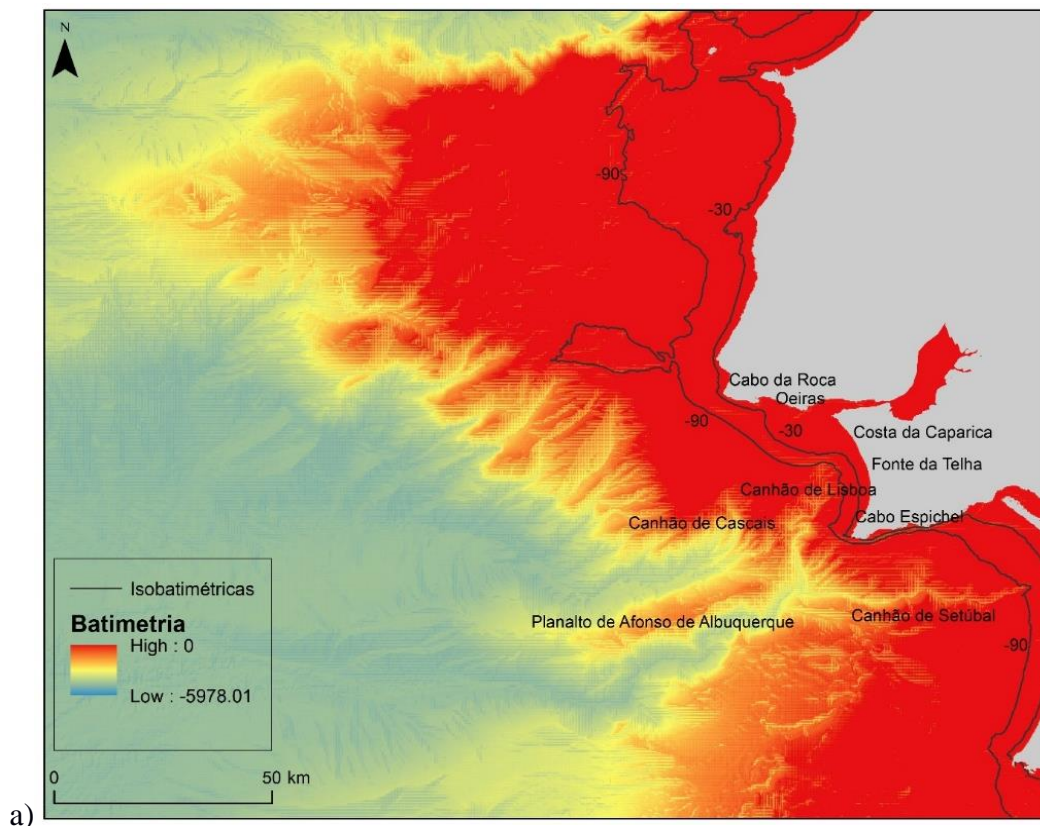
3.2 - Análise geomorfológica e tipologia de sistemas litorais

A incidência de temporais na linha de costa irá ser fortemente condicionada pela batimetria, que permite a transformação da ondulação e o desenvolvimento de áreas mais propensas à incidência da mesma sobre a linha de costa. Também as características da linha de costa e dos sistemas costeiros, delimitados anteriormente, irão ser essenciais para o estudo dos setores com maior favorabilidade à incidência de temporais. Por este motivo, o seguinte capítulo irá abordar esta temática, procurando descrever as mais importantes características geomorfológicas emersas e imersas que poderão influenciar os temporais e a distribuição das suas consequências.

Iniciando a análise do relevo submerso, a plataforma continental é uma área relativamente estreita, sendo inferior a 20km. A sua inclinação é elevada, com exceção da área influenciada pela foz do rio Tejo, onde os sedimentos transportados pelo rio permitiram a construção de troços de plataforma continental mais largos. O talude abissal é caracterizado por diversos canhões submarinos, dos quais se destacam, na área de estudo, o de Lisboa e o de Cascais e pouco mais a sul o canhão de Setúbal (figura 5). Apesar de a sua origem não ser inteiramente conhecida, sabe-se que estas incisões estão relacionadas com acidentes tectónicos e com a dinâmica das correntes que circulam junto ao litoral (Ramos-Pereira, 2004a). Estes canhões de grandes dimensões existentes na área de estudo diferem bastante entre si. Os canhões de Lisboa e de Setúbal entalham profundamente o talude e a plataforma continental, enquanto que o canhão de Cascais apenas se desenvolve ao longo do talude continental. Também se verifica que o fundo dos canhões de Lisboa e de Setúbal são estreitos, contrariamente ao fundo largo do canhão de Cascais. A extensão do canhão de Setúbal ultrapassa os 120km, o de Cascais chega a aproximadamente 70km com um declive longitudinal médio de 20%, sendo o de Lisboa o que tem as menores dimensões. Também se verifica uma grande discrepância na profundidade que estas estruturas apresentam, dado que o canhão de Lisboa tem uma profundidade aproximada de 2000m, enquanto que outros dois chegam a profundidades de aproximadamente 4000m (Gomes, 2000).

Mais a montante, e a separar o canhão de Cascais e de Setúbal, encontra-se o planalto de Afonso de Albuquerque. O seu topo encontra-se acima de 1500m de profundidade, funcionando como interflúvio dos canhões de Setúbal e de Cascais (Gomes, 2000). Estas estruturas submarinas, representadas pela batimetria da área da costa de Portugal, são de elevada importância, dado que funcionam como vias de

drenagem de material do continente para a planície abissal. Estes não atuam todos da mesma forma, uma vez que a sua influência na costa resulta da distância da cabeceira ao litoral e da área da plataforma que as influencia diretamente. Este tipo de incisões está associado a diversos condicionamentos energéticos (como correntes de *coastal upwelling*, acumulação de energia das ondas internas, correntes turbidíticas, etc.) e no caso de canhões cuja cabeceira se encontre próxima da costa verifica-se que estas estruturas influenciam os processos costeiros, como a hidrodinâmica e o transporte sedimentar (Guerreiro *et al.*, 2006). É possível observar no mapa da figura 5b que a área envolvente do estuário do Tejo apresenta dois bancos de areia relativamente desenvolvidos. Estes são importantes, dado que servem como barreira para a ondulação proveniente do oceano que não se desenvolve significativamente no interior do estuário (Freire e Andrade, 2000; Guerreiro *et al.*, 2015). A extensão do canhão de Lisboa permite influenciar essencialmente os temporais provenientes de sudoeste dado que é esta a sua orientação.



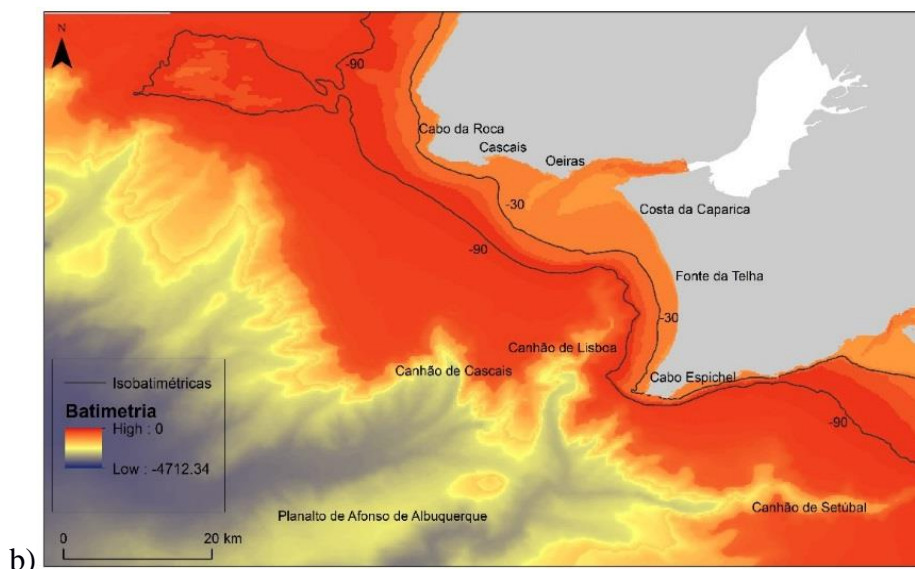


Figura 5 – Apresentação da batimetria da margem ocidental Ibérica (a) e da área envolvente à península de Lisboa e Setúbal (b).

A análise das estruturas submarinas ao largo da costa é essencial, permitindo analisar a influência que as mesmas poderão ter na ondulação. No entanto, tal como referido no capítulo anterior, na área de estudo é englobada uma faixa de 500m paralela à linha de costa. A análise da faixa mais próxima da costa também tem elevada relevância para o estudo dos temporais marítimos, dado que valores de maior profundidade na proximidade da costa permitem a propagação de ondulação de maiores dimensões. Ao analisar uma faixa de 500m próxima da costa são incluídas as ondas de H_s extrema que fazem parte da zona de rebentação. Esta secção, que contem uma extensão de ≈ 79 km e se encontra apresentada na figura 4, indica diferentes características ao longo da área de estudo. De uma forma geral, identificam-se maiores profundidades na península de Lisboa em relação à península de Setúbal, havendo bastantes variações em ambas. As profundidades máximas, que chegam aos 20m, encontram-se no sector entre o Cabo Raso e Cascais, valores desta ordem apenas voltam a ser registados na proximidade do Cabo Espichel. Entre Cascais e Oeiras os valores de profundidade decrescem, alcançando um máximo de 15m. Por outro lado, entre Oeiras e o estuário do Tejo e na península de Setúbal (entre a Costa da Caparica e a Lagoa de Albufeira) os valores máximos rondam os 10m. Tal como referido anteriormente, a secção a sul da Lagoa de Albufeira volta a ser caracterizada por valores de profundidade superiores, chegando a 20m nalgumas secções. O conhecimento das áreas de maior profundidade próximas da costa poderá ser importante para o conhecimento das áreas afetadas pela ondulação mais intensa. Deste

modo, é essencial a análise do fundo marinho, dado que as suas características irão influenciar o funcionamento da hidrodinâmica e a incidência de ondas na costa. A incidência da ondulação sobre a costa irá ter diferentes consequências conforme a tipologia dos sistemas sobre os quais atua, já que nem todos os sistemas costeiros apresentam a mesma suscetibilidade a temporais e se revela de extrema importância a sua distinção e caracterização. As características morfológicas da parte emersa da área de estudo são bastante diferenciadas entre a península de Lisboa, maioritariamente de litoral baixo rochoso, com praias encastradas, e a península de Setúbal onde domina um litoral baixo arenoso, com predominância de sistemas de praia-duna, sendo que apenas no limite meridional está presente um litoral rochoso de elevada altitude (figura 4). Tal como foi referido anteriormente, a área de estudo foi categorizada em diferentes sistemas. Para a realização desta classificação foi tida em atenção a área do litoral que se encontra em constante interação com a ondulação ou com as marés. De seguida apresentam-se os sistemas classificados e as suas características por ordem crescente de favorabilidade de ocorrência a temporais. A sua localização encontra-se na figura 4:

- Sistemas arenosos (figura 6) – Representam áreas nas quais o limite interior da praia é constituído por uma acumulação de areias eólicas, parcial ou totalmente colonizadas por vegetação, no caso das dunas, ou por urbanizações em áreas de forte ocupação do solo. Este é muito suscetível aos elementos forçadores, dado ser constituído por materiais não consolidados e finos e caracterizado por uma morfologia de baixo declive (adaptado de Neves, 2004 e Sousa, 2015). Desenvolve-se maioritariamente na península de Setúbal, sendo afetado por urbanizações na Costa da Caparica e Fonte da Telha, mas também por taxas de erosão costeira significativas. Na península de Lisboa este sector encontra-se disperso, ocupando áreas mais reduzidas. Na área de estudo ocupa uma extensão de quase 30km, sendo o setor mais representativo.

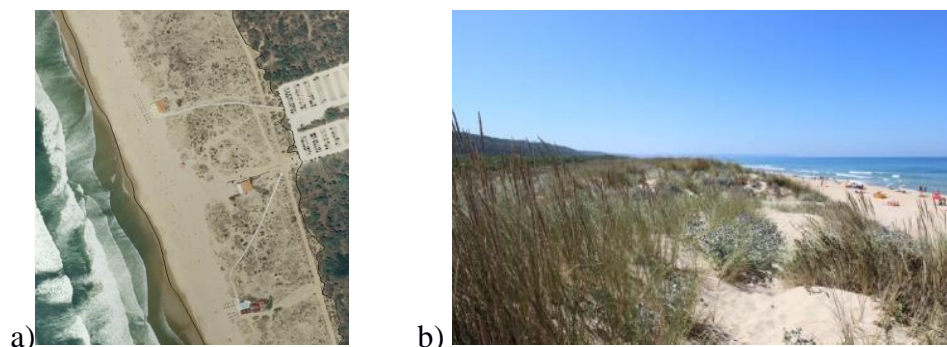


Figura 6 – Representação do sistema arenoso, praia-duna através do ortofotomapa 2007 (a) e através de fotografia (b). Fonte: Sousa, 2015.

- Sistema praia-arriba (figura 7) – Este sistema é composto por uma praia de areia, encontrando-se o limite interior delimitado por uma arriba. Parte deste sistema é constituída pelo talude que se desenvolve na base da arriba, presente devido à acumulação de sedimentos eólicos, estando por vezes colonizado pela vegetação (Sousa, 2015). A presença da arriba no interior deste sistema fornece maior estabilidade em caso de temporais, sendo este o motivo pelo qual se encontra fora dos sistemas sedimentares. Este sistema está presente essencialmente no sul da Lagoa de Albufeira, na península de Setúbal, sendo o que apresenta menores dimensões em termos de extensão.

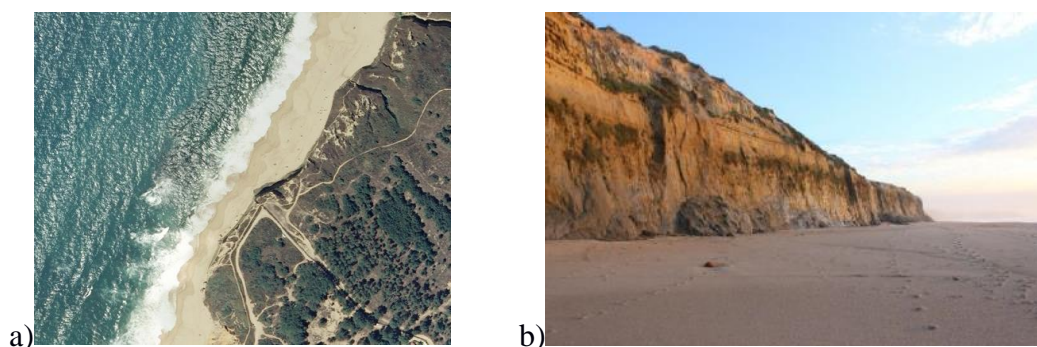


Figura 7 – Representação do sistema praia-arriba através do ortofotomapa 2007 (a) e através de fotografia (b). Fonte: Sousa, 2015.

- Sistema rochoso baixo (figura 8) – Trata-se de um sistema rochoso, no geral de maior declive que os sistemas sedimentares, e a sua altitude poderá ser transposta por ondulação de maior intensidade. Uma altitude de 13m foi estabelecida como limite para esta classe, dado que é a H_s máxima da ondulação na área de estudo. Ocorre sobretudo na península de Lisboa, ocupando 22% da área total da linha de costa e com uma orientação geral de NO – SE. O facto de ser um sistema consolidado permite uma maior refração das ondas e uma menor exposição a temporais.



Figura 8 – Representação do sistema rochoso de baixa altitude através do ortofotomapa 2007 (a) e através de fotografia (b). Fonte: *Print Screen do Google Earth*, acedido a 20.7.2017.

- Sistema rochoso elevado (figura 9) – Corresponde a um «degrau escarpado (declive acentuado), em geral modelada no sopé por processos marinhos e na parte restante por processos continentais». Este sistema é o que apresenta menor suscetibilidade a temporais devido à resistência do substrato. No entanto, a manutenção da arriba é favorecida por três processos principais – a homogeneidade do substrato, a resistência e a sua exposição face à ondulação dominante (Neves, 2004). Localiza-se essencialmente na área a sul da Lagoa de Albufeira até ao Cabo Espichel. As arribas chegam a alcançar 30m de altura, o que não permite à ondulação ultrapassar o seu topo. Também se encontram esporadicamente entre o Cabo Raso e Cascais, no entanto com menor representatividade.

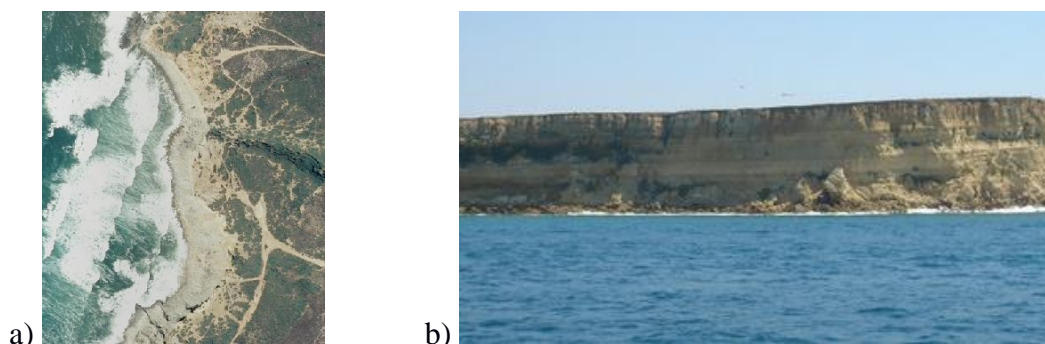


Figura 9 – Representação do sistema rochoso de elevada altitude através do ortofotomapa 2007 (a) e através de fotografia (b). Fonte: Print Screen do *Google Earth* e «Costa», by Pateb, acedido a 20.7.2017.

- Sistema artificializado (figura 10) – identifica áreas onde se reflete a intervenção na linha de costa, por forma a criar infraestruturas que permitam a diminuição da erosão do litoral e onde o desenvolvimento urbano cresceu sem ordenamento territorial, permitindo a ocupação das áreas litorais e interrompendo os sistemas de praia-duna (Neves, 2004). Na área de estudo são identificadas diversas localizações com este tipo de estruturas, nomeadamente na Costa da Caparica, Cascais ou Oeiras. São frequentes infraestruturas pesadas de proteção costeira, como paredões ou esporões que têm como objetivo a proteção da linha de costa à incidência direta de temporais.

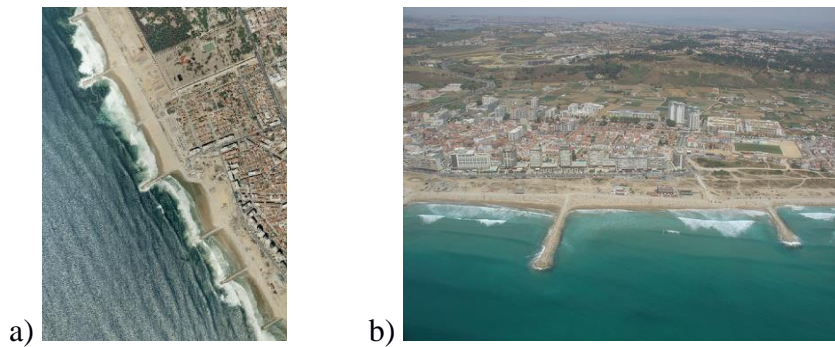


Figura 10 – Representação do sistema artificializado através do ortofotomapa 2007 (a) e através de fotografia (b). Fonte: *Print Screen* do *Google Earth* e «Costa da Caparica» by Rafael Pedro, acedido a 20.7.2017.

Estes sistemas possuem significativas diferenciações morfológicas e morfométricas ao longo da área de estudo. A largura dos sistemas não é idêntica ao longo da região estudada, ocorrendo sistemas mais largos essencialmente nas áreas da Costa da Caparica com presença de sistemas de praia-duna, que tem variações entre os 100m, onde a frente urbana se encontra próxima da linha de costa, e os 280m em áreas onde a mesma se encontra afastada e permite o desenvolvimento da duna cinzenta. Os sistemas com presença de arribas são geralmente pouco largos e predominam na península de Lisboa e no sector sul da península de Setúbal. Os valores da largura destes sistemas rochosos variam entre os 20m e os 100m nas áreas mais largas.

Na figura 11 podem ser analisados os perfis típicos dos sistemas em três setores distintos da área de estudo. Observam-se, assim, elevadas diferenças essencialmente no declive e na altitude de cada sistema litoral. A altitude dos sistemas praia-duna não ultrapassa os 15m e o seu declive é suave, motivo pelo qual é um sistema bastante vulnerável (vulnerabilidade física) à incidência de temporais. Tal como foi verificado na figura 4, este sistema ocorre na península de Setúbal, desde o seu extremo norte até à Lagoa de Albufeira. É frequente observar-se a rotura do cordão dunar frontal e a inundação de áreas interiores em caso de temporais. O perfil deste sistema encontra-se representado na figura 11a. O perfil identificado nos sistemas rochosos (fig. 11b e 11c) pode: (i) corresponder a valores de altitude e declive muito próximos dos observados nos sistemas arenosos (fig. 11c), diferindo no grau de consolidação dos materiais e consequentemente na vulnerabilidade física destes sistemas; ou (ii) corresponder a valores mais elevados de altitude e declive, mantendo-se as características litólicas e

estruturais associadas a materiais consolidados (fig. 5b e 5c) por oposição às dos sistemas litorais arenosos não consolidados (fig. 5a).

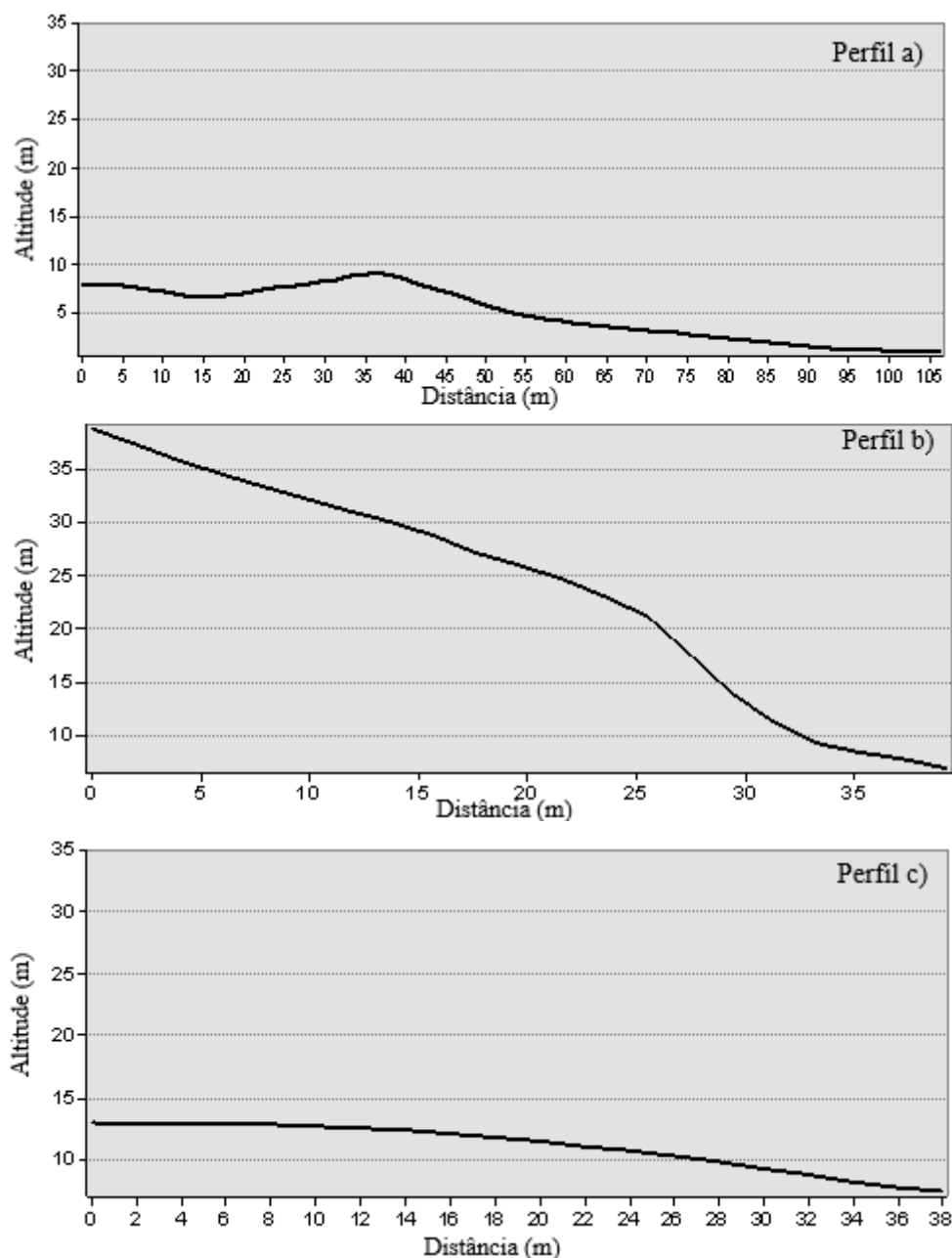


Figura 11 – Perfil (a) do sistema praia-duna na área da Praia da Rainha; Perfil (b) do sistema de arribas presente a Sul da praia das Bicas; Perfil (c) representativo do litoral baixo rochoso da área de Oitavos, Cascais. Fonte: Lidar, 2011.

Ainda sobre a consolidação dos materiais nos sistemas litorais da área do estudo, salienta-se que: (i) os litorais arenosos e não consolidados se estendem, na península de Setúbal, desde a Trafaria até ao sul da Lagoa de Albufeira (fig. 4) e são essencialmente

compostos por areias de praia e de dunas; (ii) os sistemas rochosos compostos por materiais consolidados, ainda que com diferentes graus de consolidação, podem ser observados a sul da Lagoa de Albufeira (fig. 4), onde dominam sistemas de arribas talhadas em calcários, grés e margas, mas também em arenitos. Estes sistemas de litorais rochosos dominam igualmente na península de Lisboa (fig. 4) que, em termos geológicos, tem maior variedade litológica. Aqui, as áreas costeiras rochosas são principalmente talhadas em calcários e arenitos, no entanto estão frequentemente presentes filões que conferem maior resistência e consolidação. Também é frequente a presença de pequenas praias, essencialmente encastradas. A altitude, o declive e a consolidação dos materiais que compõem os sistemas litorais da área de estudo podem ser, por isso, variáveis essenciais para a análise da exposição da área de estudo aos temporais marítimos. A relação entre estas variáveis pode ser deduzida, por exemplo, da observação de taxas de dinâmica de linha de costa em diferentes tipos de sistemas litorais na área de estudo. Na península de Lisboa são identificadas taxas de recuo na ordem dos 0,0007 m/ano até 0,010 m/ano associadas a litorais rochosos. O valor máximo de recuo observa-se entre a praia de Avencas e a praia da Bafureira, registando-se uma velocidade média de recuo de 0,010 m/ano (Taborda *et al.*, 2010). Pelo contrário, em sistemas arenosos, a tendência da costa é bastante variável. Segundo Sousa (2015) as taxas de recuo máximas, correspondentes a um balanço sedimentar negativo, são atingidas no setor entre a Nova Praia e a praia da Riviera (0,29 m/ano), no Vale Grande (a sul da Lagoa de Albufeira – 0,33 m/ano), bem como entre a Fonte da Telha e Medos de Albufeira (0,01 m/ano) e a norte da Lagoa de Albufeira (0,16 m/ano). Para além do recuo observado por Sousa (2015), também são identificados pela mesma autora diversos pontos de acreção onde o balanço sedimentar é positivo, nomeadamente entre a praia da Riviera e a praia da Rainha (0,08 m/ano), entre a praia da Rainha e a Descida da Raposa (0,70 m/ano), Descida da Raposa e Fonte da Telha (0,34 m/ano), na área da Lagoa de Albufeira (0,75 m/ano) e, por fim, entre o Vale Grande e o Moinho de Baixo (0,20 m/ano). Assim, pode identificar-se o setor norte da península de Setúbal como o mais afetado pela erosão costeira, bem como um pequeno setor a sul da Lagoa de Albufeira, no Vale Grande (Sousa, 2015; Rocha *et al.*, 2007). Os setores identificados com taxas de erosão ou balanços sedimentares negativos demonstram indiretamente a magnitude e/ou a frequência com que os temporais têm criado impactos na linha de costa do litoral em estudo nas ultimas décadas, considerando-se assim também como um indicador de grande importância para o estudo da perigosidade destes fenómenos extremos.

A análise da orientação da costa é essencial para o estudo dos temporais. O efeito que o temporal poderá ter está diretamente relacionado não apenas com a orientação da costa, mas também com a proveniência dos temporais. Os temporais provenientes de sudoeste irão afetar os setores da costa com orientação de NO-SE. Pelo contrário, os mais frequentes, que em 65,18% dos casos são provenientes de NO (Sousa, 2015), irão incidir diretamente sobre a costa com orientação de NE-SO. Dado que os temporais são predominantemente provenientes de NO, existe uma maior incidência da ondulação nas áreas com orientação de NE-SO, sendo estas as áreas mais expostas. Esta orientação poderá ser encontrada essencialmente a sul da Lagoa de Albufeira, tal como referido anteriormente, sendo que a costa exposta a Oeste também é fortemente afetada. Pelo contrário, as áreas da Costa da Caparica até à Lagoa de Albufeira e de Cascais até ao Forte de São Julião da Barra encontram-se mais abrigadas destes eventos e mais expostas aos provenientes de SO. Por conseguinte, a classificação da orientação da costa como mais ou menos suscetível à ação dos temporais está diretamente relacionada com a proveniência dos mesmos. Esta é uma temática que será tratada com maior detalhe no capítulo 3.3 – Hidrodinâmica Marinha.

Na área de estudo existem diversos sectores abrangidos por redes de áreas protegidas. Nestas áreas a incidência de eventos extremos poderá levar ao recuo costeiro ou à destruição de espécies protegidas ou de áreas classificadas como marcantes em termos de geopatrimónio. Assim, verifica-se a existência do Parque Natural Sintra-Cascais, que na área de estudo inclui apenas a extensão que vai desde o Cabo Raso até Cascais; a Arriba Fóssil da Costa da Caparica, inserida como paisagem protegida; e o Parque Natural da Arrábida que inclui, na área, dois monumentos naturais – a Pedra da Mua e o Vale dos Lagosteiros, ambos constituindo jazidas de icnofósseis com vestígios de ocorrências paleontológicas (ICNF, acedido a 07.04.2017).

3.3 – Hidrodinâmica marinha

A análise da hidrodinâmica marinha é de extrema importância para o estudo dos temporais, englobando a caracterização da ondulação e das marés, o *storm surge*, a influência do estuário do rio Tejo e as correntes longilitorais e transversais à linha de costa. Estas variáveis irão permitir uma diferenciação na distribuição do fenómeno perigoso, motivo pelo qual, as suas características são analisadas neste capítulo.

Dado que a ondulação é o fator desencadeante dos temporais é necessário o estudo pormenorizado desta variável, havendo diversos autores que utilizam a análise de boias onógrafa localizadas na proximidade das respetivas áreas de estudo, ou a modelação numérica para caracterizar e determinar a distribuição espacial das ondas na costa. Segundo o relatório da APA, (2013a), que utiliza a modelação numérica de ondas numa área que se estende desde Pedras Negras até ao Cabo Espichel, o clima de agitação marítima é bastante variável, sendo possível identificar grandes variações nas características da ondulação em escalas espaciais de ordem quilométrica. As especificidades locais e a existência de saliências da linha de costa introduzem mudanças espaciais da altura e do rumo da ondulação. Também se constata que na área de estudo predominam processos de refração sobre os de empolamento, promovendo assim uma diminuição da altura das ondas em águas de baixa profundidade.

Segundo os dados das simulações da ondulação média e máxima da H_s para as áreas de Tamariz, praia da Costa da Caparica, praia do Castelo e Lagoa de Albufeira (dados referentes à batimétrica dos 10m) podem ser identificadas variações em termos da ondulação dominante. Observando os gráficos da figura 12, referente à H_s média por mês de cada uma das áreas, pode concluir-se que Tamariz é a área que apresenta condições de agitação marítima menos intensas. Neste local, o valor médio de H_s obtém o valor de 0,7m, sendo que, ao analisar os valores extremos, apenas três meses excedem o valor de 4,5m (valor a partir do qual diversos autores consideram a existência de temporais). As condições da hidrodinâmica na praia da Costa da Caparica aumentam ligeiramente de intensidade. A H_s nesta área é superior e atinge um valor de 1,2m. Nesta localização, o valor médio máximo atinge os 4,6m e são verificados 4 meses com valores superiores a 4,5m. As condições de agitação marítima variam significativamente na praia do Castelo e na Lagoa de Albufeira. Apesar de a H_s média ser apenas tenuemente superior (1,2 e 1,3m respetivamente) uma grande variação ocorre nos valores extremos. Na praia do Castelo a H_s máxima média atinge a ordem dos 5,6m, o mesmo parâmetro na lagoa de Albufeira é o máximo dos pontos analisados com 7m. Nestas áreas, a H_s máxima média excede o valor de 4,5m durante 7 meses e, sendo assim, é superior o potencial de ocorrência de temporais (APA, 2013a). Neste contexto, não poderá ser subestimado o efeito abrigo proporcionado pela costa do Cabo Raso ao litoral meridional da península de Lisboa e mesmo à área norte da península de Setúbal.

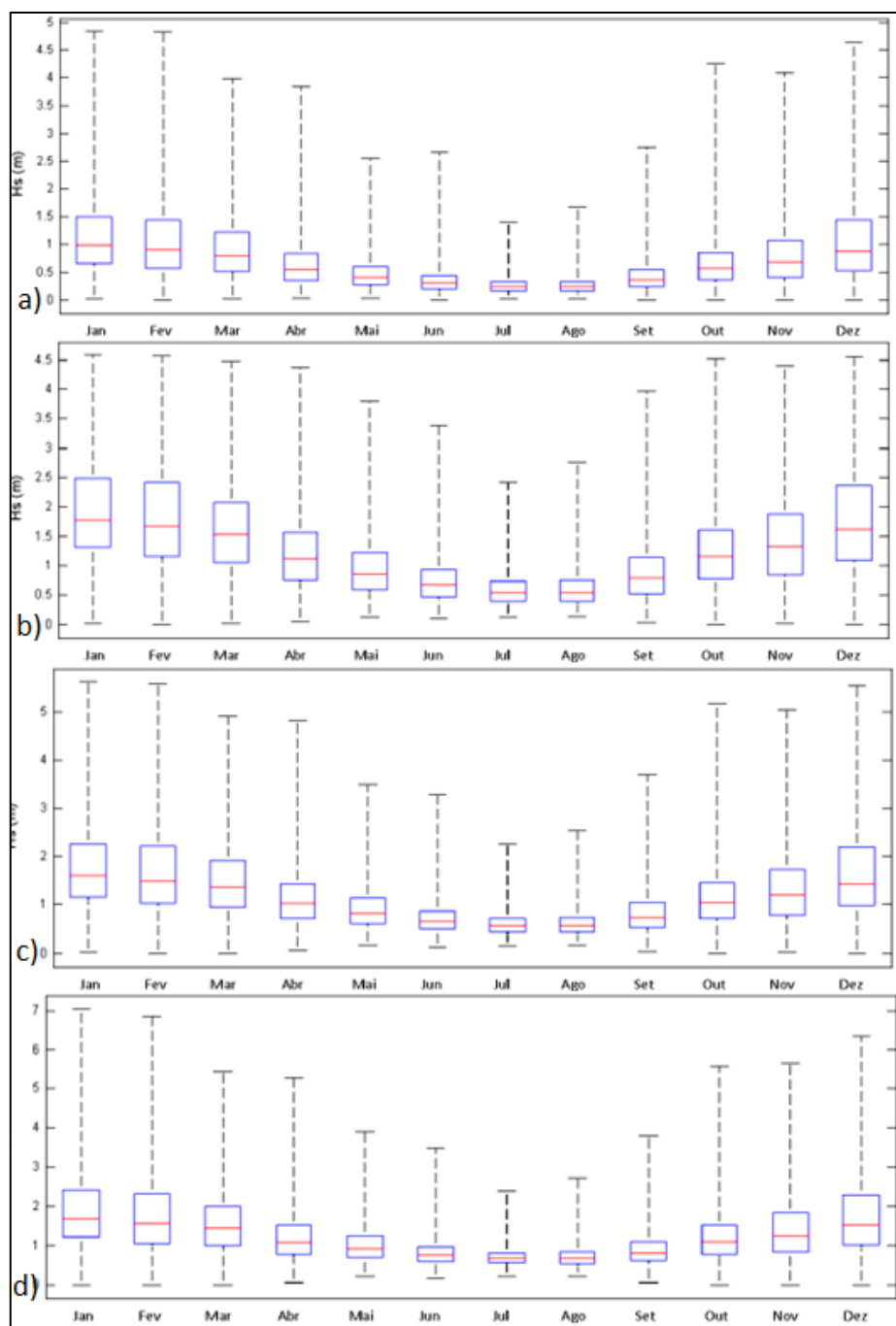


Figura 12 – Determinação das H_s médios e máximos da ondulação junto à costa. a) Tamariz; b) praia da Costa da Caparica; c) praia do Castelo; d) Lagoa de Albufeira. Fonte: APA, (2013a).

É também relevante analisar o rumo médio da ondulação. Apenas a área da Lagoa de Albufeira é afetada predominantemente por ondulação de NO, mais concretamente 276° . Os outros três pontos referidos são atingidos por ondulação com um rumo médio de SO, apesar de conterem grandes diferenças – no caso da praia do Castelo, a ondulação é predominante de 249° , na praia da Costa da Caparica de 236° e na área de Tamariz de 209° (APA, 2013a). Na margem ocidental de Portugal o rumo mais frequente de

ondulação é de NO, em 67% a 80% das ocorrências, no entanto os rumos de O e ONO também detêm elevada frequência (Trindade, 2010; Costa, 1994). Segundo Sousa (2015), a análise dos temporais existentes segundo a base de dados *micore* encontra 409 ocorrências de temporais entre 1 de janeiro de 1953 e 31 de março de 2009, sendo que noroeste é o rumo predominante, ocorrendo em 65% dos casos (dados da boia de Sines). Através da bibliografia apresentada, poderá ser deduzida a maior incidência de temporais no sul da península de Setúbal e na área do Cabo Raso, encontrando-se a fachada norte da área de estudo abrigada deste fenómeno extremo.

O período da ondulação também poderá ser uma característica importante para a análise da hidrodinâmica, pois permite a ressuspensão constante dos sedimentos, impedindo a sua deposição próxima da fonte dos mesmos (Trindade, 2010). A costa ocidental de Portugal é atingida por ondulação com um período médio (T_z) que varia entre os 6s e os 8s, sendo as leituras mais frequentes 5s e 7s (Trindade, 2010; Pires e Pessanha, 1986; Costa, 1987 e Costa *et al.*, 2001).

Na costa ocidental de Portugal, a maré astronómica é do tipo semidiurno, ou seja, com duas preia-mares e duas baixa-mares distintas, com uma periodicidade de 12h e 25min, resultando assim num atraso médio de 50 minutos por dia. No decorrer da onda de maré, a sua progressão é feita de sul para norte (Antunes e Taborda, 2009; APA, 2013b). Também se verifica que, aproximadamente a cada quinze dias ocorre a variação entre as marés vivas e as marés mortas, com amplitudes de aproximadamente 1,5m, no caso das marés-vivas, e de 70cm, no caso de marés mortas. O litoral da costa de Portugal é considerado mesomareal elevado. O zero hidrográfico foi determinado em relação ao nível médio do mar de 1938, encontrando-se o nível médio do mar em Cascais nos 2,08m do zero hidrográfico, que devido às condições do aumento do nível médio do mar tem vindo a crescer (Godinho, 2011; Antunes e Godinho, 2011). Segundo a APA, (2013b), os valores de amplitude máxima de maré em Cascais atingem os 3,54m.

Poderá ainda observar-se o possível aparecimento de marés meteorológicas em caso de *storm surge* – este é um fenómeno meteorológico, aperiódico e pontual, no qual uma descida barométrica origina uma subida do nível do mar a uma taxa de 1 cm hPa^{-1} (Neves, 2004; Viles e Spencer, 1995). Segundo os mesmos autores, também as variações da temperatura da água e da sua salinidade, a mistura de águas superficiais e profundas e ventos fortes *on-shore* poderão criar sobrelevações semelhantes em determinados pontos da costa. Estas situações de sobrelevação são agravadas em períodos de coincidência de temporais em períodos de preia-mar viva, proporcionando a ocorrência de galgamentos

(Neves, 2004; Viles e Spencer, 1995). Estudos sobre a sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica em Portugal Continental permitiram concluir que os níveis de sobrelevação, no marégrafo de Cascais alcançaram os 0,78m, valor este atingido a 23.10.2006 no decorrer de um temporal (Trindade, 2010). Segundo Gama *et al.*, (1997), através da análise dos dados dos marégrafos de Cascais e Lisboa, entre junho de 1986 e maio de 1988 os valores máximos de sobrelevação atingidos foram de 0,52m e 0,48m respetivamente.

Neste setor específico da costa verifica-se também a necessidade da análise da influência do estuário do rio Tejo. Apesar de não haver propagação significativa da ondulação oceânica para o interior do estuário, este é essencial para a caracterização da área, dado que influencia fortemente a dinâmica da morfologia submersa através do afluxo de sedimentos. Alterações da batimetria originam consequentemente variações dos padrões e características da hidrodinâmica do oceano. No entanto, a evolução da batimetria também está condicionada pelas correntes de deriva e superficiais, dado que estas permitem o transporte de sedimentos provenientes dos cursos de água e dos processos erosivos atuantes sobre as áreas adjacentes à costa. Tal como foi verificado anteriormente, entre o Cabo Raso e Carcavelos o litoral é composto por arribas (geralmente de baixa altura) e por praias encastradas. A sul do rio Tejo a costa é composta essencialmente pelo sistema praia-duna até à praia das Bicas, e a sul desta praia encontra-se um sistema litoral rochoso, de arribas de elevada altura. Esta área de estudo foi dividida pelo GTL, (2014) em três células (figura 13): 4a) de Cabo Raso a Carcavelos; 4b) o estuário exterior do Tejo; 4c) da Costa da Caparica ao Cabo Espichel. Estas células vieram a sofrer grandes alterações de tendência de afluxo de sedimentos recentemente. Desde os meados do século XX, o corredor eólico do Guincho-Oitavos encontra-se desativado, e por este motivo não se encontra em atividade o principal fornecedor de sedimentos para a célula 4a). Consequentemente, verifica-se também uma redução de sedimentos para a célula 4b). Desde os anos 40 também se verificou a extração de sedimentos e dragagens no banco do Bugio e no Canal da Barra. Este significativo défice sedimentar não foi compensado pelos sedimentos afluentes pela corrente de deriva litoral provenientes da célula 4c). Assim, a redistribuição sedimentar que ocorre no interior da célula 4b) «propagou este défice sedimentar a toda a célula e originou o comportamento regressivo que atualmente se observa nas praias adjacentes à Costa da Caparica» (GTL, 2014). A figura 13 permite verificar a distribuição das células e o respetivo balanço sedimentar.

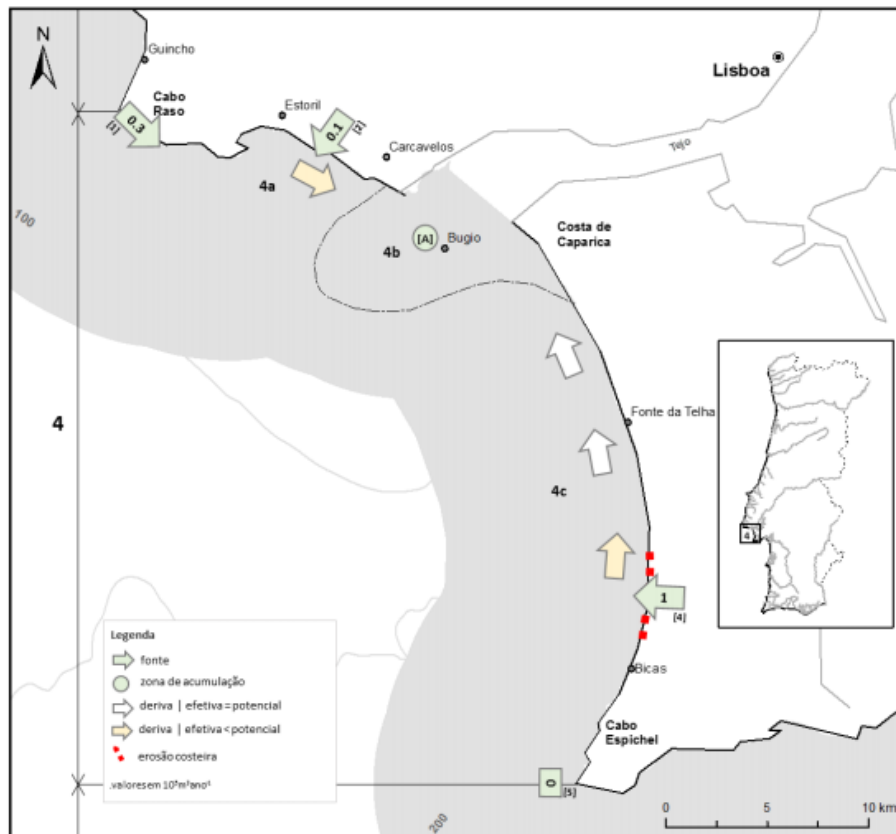


Figura 13 – Células sedimentares e o respetivo balanço sedimentar segundo GTL, 2014.

3.4 - Ocupação do solo e urbanização do litoral

O estudo da ocupação do solo no litoral é essencial para a compreensão das heterogeneidades que o território apresenta.

O clima da região e as condições de agitação marítima constituem importantes modeladores das formas litorais, no entanto, poderá ser verificada uma crescente exposição à erosão e galgamentos em áreas de uso das zonas costeiras, atrativas para as diversas atividades humanas (Pedrosa, A., 2012; Pires *et al.*, 2012). As formas costeiras naturais constituem a melhor defesa contra a aceleração do recuo da linha de costa. Existem diversas atividades humanas responsáveis pela degradação destas formas naturais (pisoteio das dunas, o aumento da escorrência devido às regas, construção de estradas e edifícios e as explorações de areia), promovendo assim o aumento da exposição da costa. Este tipo de atividades permite a formação de cortes eólicos, erosão forte, movimentos de massa, áreas deprimidas, facilitando galgamentos (Alveirinho-Dias J., 1993). As obras de engenharia costeira têm frequentemente consequências negativas para o litoral. Estas não são destinadas à proteção exclusiva do litoral, mas sim de propriedades

privadas ou públicas que pretendem eliminar ou diminuir a erosão costeira que ameaça propriedades mal localizadas (Alveirinho-Dias J., 1993).

O desenvolvimento urbano do litoral da península de Setúbal está diretamente relacionado com os processos territoriais da área metropolitana de Lisboa. Foi apenas em 1920, na Costa da Caparica, que se instalou uma comunidade de pescadores. Com a fixação destes pescadores e com o desenvolvimento de uma estrada até Almada (nos anos 30) começam a verificar-se os primeiros sinais de modificação. Apesar de o número populacional ter aumentado de ano para ano, foi com a construção da ponte 25 de Abril que o número de habitantes cresceu exponencialmente. Associados aos problemas de poluição das praias da linha de Estoril e à dificuldade de aquisição de habitação em Lisboa, o número de habitações aumenta sem obedecer a qualquer plano de ordenamento do território. A combinação da pressão agrícola e urbana conduz à degradação das dunas e sobre as mesmas são elevadas as edificações de S. João da Caparica, Cova do Vapor, Trafaria, Fonte da Telha (Freire, 1986). Segundo os censos do INE, quanto ao número de edifícios por década, nota-se que inicialmente, em 1919, estavam presentes apenas 8 edifícios, crescendo bastante até 1945, período a partir do qual ocorre a maior expansão registada, edificando-se aproximadamente 700 edifícios por década até ao início de 1980. Neste período é registado o decréscimo no número de edifícios construídos por década, no entanto a cidade continua a crescer, sendo constituída por um total de 3362 edifícios em 2011 (INE, 2011).

A urbanização teve um forte crescimento no litoral da península de Setúbal, no entanto este teve as suas heterogeneidades e não atuou de forma idêntica em toda a região. A ocupação do solo entre o sector a norte e a sul da Lagoa de Albufeira é bastante diferenciada. A área urbanizada mais próxima da linha de costa corresponde à Costa da Caparica, que se encontra na fronteira com a praia, sendo a urbanização de maiores dimensões. Nesta área também se encontram diversas estruturas de lazer e de restauração, que são os objetos mais expostos em caso de temporais. A sul desta urbanização também se verifica a presença de um parque de campismo de grandes dimensões. A partir do parque de campismo na direção para sul, a ocupação do solo da área litoral é dominada por campos agrícolas e por diferentes tipos de florestas. A urbanização é muito limitada, encontrando-se na área envolvente da Lagoa de Albufeira e em diversos pontos caracterizada por pequenas dimensões afastados da direta ação das ondas. No caso da Costa da Caparica, desde o início da década de 1950 até ao início da década de 1970, foi construído o campo de esporões, uma obra de defesa aderente com 2,5km de comprimento

e 7 esporões. Devido à forte erosão costeira também se verificou a alimentação artificial de areia com um volume de 500 000m³ nas áreas mais fortemente afetadas pela erosão (Veloso Gomes *et al.*, 2007c). Até o ano de 2000, apesar da existência de alguns galgamentos, verificou-se a estabilidade da zona costeira. Entretanto as estruturas foram sendo degradadas e após 2000, em diversas ocasiões, foi necessária a requalificação das estruturas após a ocorrência de temporais (Veloso-Gomes, 2007b).

O caso da área meridional da península de Lisboa é bastante mais antigo, existindo as vilas de Cascais e Oeiras. É no séc. XIX, com o início da exploração do potencial turístico desta região que a mesma começa a sofrer processos de expansão demográfica e urbanística mais intensas. Em 1859, com o início da construção da estrada que ligava as vilas de Cascais, Oeiras e Sintra, é quebrado o isolamento destas vilas. Em 1870, a presença da família real intensifica a importância turística desta área e com a construção da linha de comboio em 1889, a Costa do Sol começa a ser apresentada como uma faixa litoral com um conjunto de centros urbanos importantes, na proximidade da capital. Na segunda metade do séc. XX ocorre um grande período de desenvolvimento nesta região, pois os anos 60 e 70 registam um significativo aumento de migrações para Lisboa, levando a uma fase de expansão suburbana dos municípios desta área, suportado pela melhoria das acessibilidades a Lisboa. Assim, a faixa litoral é rapidamente ocupada o que permitiu novos empreendimentos com a funcionalidade de dormitório de Lisboa (CM-Cascais, acedido a 01.05.2017; CM-Oeiras, acedido a 01.05.2017; Barata A., 2009). A faixa litoral encontra-se altamente antropizada, obtendo-se um valor de 18 243 edifícios em Oeiras e de 43 624 edifícios em Cascais (Dados INE, 2011). Deverá ter-se em consideração que estas áreas com forte ocupação do solo não se encontram totalmente inseridas nos sistemas definidos anteriormente, encontrando-se muitos afastados da ação direta dos temporais. Podem ser identificados diversos pontos com obras de proteção costeira na costa da península de Lisboa. Na costa de Cascais encontram-se presentes diversos esporões, a marina de Cascais e na envolvência desta um paredão de proteção. Também se encontram esporões nas áreas arenosas de Estoril, na praia de Santo Amaro, Paço-de-Arcos e Cruz Quebrada. Entre Paço-de-Arcos e Cruz Quebrada também se verifica a existência de um paredão com o intuito de proteger a marginal e a linha ferroviária.

Desta forma, pode ser concluído que a urbanização presente neste litoral é extensa, havendo muitas infraestruturas na proximidade do oceano, suscetíveis de serem afetados por temporais.

3.5 - Sinopse

A área de estudo considerada nesta dissertação estende-se desde o Cabo da Roca até ao Cabo Espichel. A inclusão das duas penínsulas (de Lisboa e de Setúbal) leva à diferenciação de sistemas litorais que têm favorabilidades distintas quanto à incidência de temporais. Os sistemas considerados neste trabalho foram o sistema artificializado; o sistema arenoso; o sistema praia-arriba; o sistema rochoso baixo e o sistema rochoso elevado, por ordem decrescente de favorabilidade à ocorrência de temporais.

Na área de estudo têm sido realizados diversos estudos em relação à hidrodinâmica. Na costa Portuguesa a ondulação é predominantemente de NO, sendo a maior parte dos temporais proveniente do mesmo rumo. A maré é mesomareal, ocorrendo esporadicamente fenómenos de *storm surge* com sobrelevações significativas. A ondulação atinge o seu máximo de H_s na área envolvente do Cabo Raso e do Cabo Espichel, verificando-se uma diminuição dos valores da altura da onda em direção ao estuário do Tejo.

Diversos segmentos da linha de costa sofreram intervenções de engenharia pesada, por forma a proteger a costa da ação do mar. O caso mais notório encontra-se na Costa da Caparica, onde paredões e esporões foram instalados com o objetivo de proteção da linha de costa. Diversos setores, principalmente nos sistemas sedimentares, encontram-se em erosão, sendo possível assim verificar diferentes pontos onde a incidência de temporais poderia levar a um elevado número de consequências.

Capítulo 4 – Fontes, técnicas e métodos

4.1 - Fontes de dados

Os dados para a avaliação da perigosidade associada aos temporais no litoral entre Cascais e o Cabo Espichel podem agrupar-se em três tipologias distintas, que mais adiante serão discriminadas: dados espaciais de base física, dados estatísticos e dados históricos. Os dados espaciais serviram de base para a caracterização e modelação de todas as componentes da base física do território emerso e imerso. Revelaram-se muito importantes, quer na fase de modelação dos temporais, quer na fase de avaliação do seu impacto no litoral. Os dados estatísticos serviram de base de caracterização da componente humana e da ocupação do território. Os dados históricos referem-se ao inventário de eventos e ocorrências de consequências dos temporais na área de estudo.

De forma a realizar previamente uma simulação de temporais potencialmente danosos e avaliar posteriormente a perigosidade da área de estudo relativamente a temporais marítimos, foram necessárias: i) as variáveis de base para a criação do modelo de agitação marítima; ii) uma série longa de dados de ondulação com medições de H_s para o cálculo de períodos de retorno; iii) as variáveis para a caracterização das formas e dinâmicas dos sistemas costeiros; e iv) os dados históricos inventariados que permitam a validação do modelo de agitação marítima e do mapa de perigosidade a temporais costeiros.

Assim, para a aplicação do modelo *WaveWatch III* de geração de agitação marítima, descrito no ponto seguinte deste capítulo, foram utilizados dados do vento a 10m da superfície e dados batimétricos, cujas respetivas fontes se encontram referidas no quadro 4. Optou-se por utilizar uma resolução espacial variável da batimetria, que se foi aumentando progressivamente com a aproximação à linha de costa (quadro 4). A malha batimétrica *ETOPO1* foi utilizada na bacia do Atlântico Norte até à margem ocidental Ibérica. A partir deste ponto e de forma a obter uma melhor resolução foi utilizada a malha batimétrica do *EMODNET*. Na área de estudo foi inserida a malha batimétrica do Instituto Hidrográfico, com uma resolução de 100m e por fim, apenas ao longo da linha de costa foram utilizados os dados do *LIDAR2011*, servindo esta também de base ao modelo numérico de ondas *SWAN*. A batimetria condiciona fortemente a distribuição da ondulação e as características da mesma. As áreas de maior profundidade localizadas na

proximidade da costa proporcionam condições para o desenvolvimento de ondulação mais energética (Bender e Dean, 2003).

A utilização destas variáveis permitiu iniciar o processo de modelação de ondas de largo, porque estas são geradas pelo vento e apenas com a sua aproximação da costa são transformadas pelas características dos fundos marinhos. Assim, os dados referentes à distribuição da H_s ao longo da faixa litoral permitiram o estudo das áreas de incidência de ondas com maior energia, sendo este o fator desencadeante e determinante para as consequências de temporais na faixa litoral entre Cascais e o Cabo Espichel. Os dados da boia ondógrafo do Porto de Lisboa (coordenadas: Latitude 38° 37' 33,6" N e Longitude 09° 23' 16,8" W, profundidade de 30m) servem de validação do modelo de geração de agitação marítima. A validação foi realizada para o período de abril de 2009, dada a elevada variabilidade dos dados que apresentavam grandes oscilações, proporcionando um período temporal suficientemente longo e variável para a avaliação do modelo. O conjunto destes dados medidos em tempo real e com uma frequência horária foram essenciais. Por se encontrar próxima da área de estudo e a uma profundidade de 30m – na qual a ondulação é afetada pelas condições da batimetria, a boia da administração do Porto de Lisboa é considerada para a validação do modelo de geração de agitação marítima.

A utilização dos dados de ondas do projeto *micore* (Dodet *et al.*, 2010) permitiu a análise dos padrões de agitação marítima entre 1953-2009, período suficientemente longo para o cálculo dos períodos de retorno de ondas extremas na área de estudo. Este processo é descrito rigorosamente no capítulo 4.5 - Determinação de períodos de retorno de ondas de temporal.

Para a construção e determinação do índice de perigosidade foram escolhidas as variáveis consideradas essenciais, resultado da análise da literatura científica (Rangel-Buitrago e Anfuso, 2015; Abuodha e Woodroffe, 2006; Coelho *et al.*, 2006; Moritz e Moritz, 2006; *Kinetic Analysis Corporation*, 2013; Trindade e Ramos-Pereira, 2013; Orton *et al.*, 2014) e da sua eventual adaptação à área de estudo. As variáveis utilizadas para a construção do índice escolhidas foram: a H_s associada a um período de retorno de 100 anos; a altitude ortométrica; o declive; a COS - Carta de uso e ocupação do solo; a BGRI - Base Geográfica de Referenciação de Informação; a orientação da linha de costa; a geologia; a geomorfologia; as taxas de erosão/acreção; a batimetria; a largura dos sistemas; e as áreas protegidas.

De forma a analisar as características do litoral são necessários dados topográficos - através dos quais poderão ser extraídos os valores das altitudes e declives, que posteriormente serão indispensáveis de forma a determinar as diferenças do grau de suscetibilidade da costa a temporais (Coelho *et al.*, 2006; Rangel-Buitrago e Anfuso, 2015). A incidência de temporais em litorais com valores de altitude e declive superiores pode resultar em consequências menos danosas.

A utilização do uso do solo (COS 2007) e do número de edifícios (BGRI) teve como objetivo identificar diferentes áreas de urbanização, devido à sua relação direta com um superior número de ocorrências e consequências diretamente atribuídas aos temporais (Davidson-Arnott, 2010, Finkle *et al.*, 2005). A fonte de ambas as variáveis está presente no quadro 4.

A geologia pode definir os processos físicos que levam à dissipação da energia da ondulação e a favorabilidade da costa à erosão (Thieler e Hammar-Klose, 1999). Materiais não consolidados (sistemas sedimentares) têm maior propensão à ocorrência de erosão e progressão do *run-up* para as áreas interiores. Pelo contrário, materiais consolidados permitem a reflexão da ondulação (Holthuijsen, 2007).

A geologia pode condicionar a geomorfologia, dado que os materiais consolidados estão frequentemente associados a áreas de litorais rochosos com sistemas de arribas, enquanto que, materiais não consolidados representam os litorais arenosos de praias e dunas. A variável da geologia tem uma resolução de 1/50 000 (LNEC), enquanto que a variável da geomorfologia foi obtida através da análise de ortofotomapas e de vectorização dos sistemas costeiros (quadro 4).

A introdução de taxas de erosão/acreção no estudo e na formulação do índice de perigosidade foi importante para o estudo porque a remobilização de areia ou a dinâmica de arribas é mais intensa durante estes episódios extremos. Sendo assim, as taxas de erosão mais significativas poderão identificar áreas que têm sido mais afetadas diretamente por temporais por longos períodos temporais (Mendonza e Jiménez, 2006). As taxas de erosão utilizadas neste relatório foram baseadas em autores que trataram o tema na área de estudo, nomeadamente Sousa (2015), Rocha *et al.*, (2007) e Taborda *et al.*, (2010) (quadro 4).

A análise da largura dos sistemas pode permitir inferir uma maior proteção da costa, visto que sistemas mais largos funcionam como um *buffer* que poderá atenuar o impacto dos temporais (Rangel-Buitrago e Anfuso, 2015). A incidência dos temporais no litoral está diretamente associada à exposição da costa, levando a um incremento da

favorabilidade das costas com exposição de NE-SO no caso dos temporais provenientes de NO, predominantes no litoral ocidental português (Sousa, 2015). A largura dos sistemas e a orientação da costa foram obtidos através da medição dos sistemas costeiros definidos anteriormente e através da análise da orientação da linha de costa respetivamente (quadro 4).

A análise das áreas protegidas é considerada, uma vez que a análise das consequências dos temporais não é avaliada apenas em perdas económicas e sociais, mas também em biodiversidade e a destruição de áreas com valor patrimonial (Restrepo *et al.*, 2012). Esta variável foi identificada através do ICNF (quadro 4).

De forma a avaliar as consequências dos temporais através do registo das suas ocorrências recorreu-se ao «Diário de Notícias» e às suas edições referentes ao inverno marítimo (de outubro a abril) entre os anos de 2000 e 2015. A pesquisa foi iniciada do ano mais recente para o mais longínquo e foi realizada nos estabelecimentos da Biblioteca Nacional de Lisboa e na Hemeroteca de Lisboa. Previamente à realização desta pesquisa definiram-se os critérios de inventariação que se enumeram de seguida: (i) fonte (data do jornal e página); (ii) localização exata da ocorrência; (iii) sistemas afetados; (iv) as principais consequências e (v) diversas observações dependentes da estrutura da notícia que pudessem fornecer informações importantes, como os valores monetários dos prejuízos ou a altura das ondas que foram registadas.

O quadro 4 sintetiza todos os dados utilizados.

Quadro 4 – Apresentação dos dados utilizados, das respetivas fontes, escalas e propósitos.

Variável	Fonte	Resolução/Escala	Propósito
MICORE	Dodet <i>et al.</i> , 2010	Entre 1953 e 2009; 6 em 6h	Análise dos períodos de retorno;
Ortofotomapas	IGP	50cm.	Definição dos sistemas costeiros.
Módulos dos ventos a 10m	<i>Global Forecasting System, NOAA</i>	Análises atmosféricas de 3 em 3h. Resolução de 0.5°	Geração de ondas <i>Wave Watch III</i> e <i>SWAN</i> .
H_s-período de retorno 100 anos	Modelação <i>SWAN</i>	Pixel 50m	Análise da distribuição espacial da H_s do evento extremo de 100 anos.

Topografia	<i>LIDAR</i>	Pixel de 2m	Geração da altitude e declives
COS 2007	DGT	Escala 1/25 000	Análise da ocupação do solo.
BGRI 2011	INE	Número de edifícios por parcela.	Análise da presença humana
Batimetria	<i>LIDAR</i>	Resolução 2m	Faixa costeira de 500m entre Cascais e Costa da Caparica
Batimetria	Instituto hidrográfico	Pixel de 100m	Área de Cascais até Cabo Espichel
Batimetria	Instituto hidrográfico	Pixel de 100m	Área de Cascais
Batimetria	<i>EMODNET</i>	Pixel \approx 230m	Propagação de ondas na proximidade da costa.
Batimetria	<i>ETOPOI</i>	1 ArcMinuto \approx 1,8km	Propagação de ondas ao largo da costa.
Ocorrências	Diário de Notícias	———	Determinação das ocorrências de temporais.
Geologia	LNEC	1/50 000	Análise da consolidação das estruturas costeiras
Geomorfologia	Análise e vectorização de ortofotomapas	———	Análise da geomorfologia costeira.
Taxas de erosão/acrecção	Sousa (2015); Rocha <i>et al.</i> , (2007); Taborda <i>et al.</i> , (2010);	Setores definidos pela bibliografia.	Identificação de setores de maior e menor favorabilidade a temporais.
Largura do sistema	Medição dos sistemas costeiros.	Medições de 50m em 50m.	Identificação de áreas com maior capacidade de amortecimento do impacto de temporais.
Exposição	Análise e vectorização de setores dominantes da costa.	———	Verificar as áreas diretamente afetadas por temporais provenientes de NO.

Áreas protegidas	ICNF	—	Análise de áreas com biodiversidade ou monumentos geológicos.
-------------------------	------	---	---

4.2 – Definição das UEALitoral

De forma a analisar a perigosidade a temporais é necessário o estudo de diversas variáveis, sendo estas caracterizadas por distribuições e variações espaciais e dinâmicas distintas. De forma a uniformizar todas as variáveis foi necessário o parcelamento da área de estudo em unidades elementares de análise do litoral (UEAL). Estas UEAL foram criadas através da divisão da área em parcelas de aproximadamente 50m (figura 14) – foi estabelecido que um parcelamento de 50m, tendo em conta a larga escala espacial deste estudo, seria suficiente para a caracterização da dinâmica e das variações associadas às diferentes variáveis. Os sistemas emersos são caracterizados por variações significativas da resolução - destas a maior resolução era a apresentada pelos mapas de declive e altitude (células de 2m) e a menor era a apresentada pela variável de geologia, que em formato vetorial apresentava uma resolução de 1/50 000 (descritos com maior pormenor no capítulo «Fontes de dados»). A variável referente à altura significativa da onda apresenta uma resolução de 50m. A uniformização de todas as variáveis, segundo as UEAL permite a comparação direta entre as variáveis que apresentavam escalas diferentes. A classificação das variáveis foi realizada através da ferramenta do *ArcGis Zonal Statistics*.

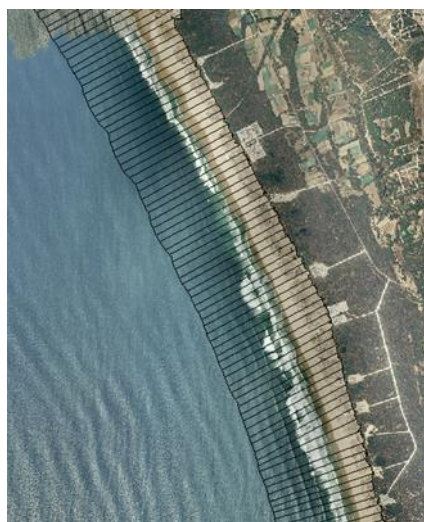


Figura 14 – Exemplificação das parcelas criadas para a área das praias da Costa da Caparica.

4.3 - Modelos numéricos de elevação

Os modelos numéricos de elevação foram criados com dois objetivos: (i) a modelação da agitação marítima e (ii) a caracterização da batimetria e topografia da costa, para a construção do índice de perigosidade costeira.

Como já foi referido, os dados batimétricos são uma componente essencial para o processo de modelação numérica de ondas. Um dos maiores problemas frequentemente encontrados está associado à resolução da batimetria utilizada. Quando enquadrado num processo de modelação de ondas de largo a resolução batimétrica parece não afetar de forma significativa os resultados finais, dado que as ondas de livre circulação são geradas essencialmente pelo vento e não sofrem processos de alteração provocados pelo fundo oceânico (Ochi, 1998). Com a diminuição da profundidade são identificados diversos processos atuantes, apresentados anteriormente no ponto 1.2 - Os perigos costeiros e os temporais, e por este motivo é verificado o aumento da resolução batimétrica à medida que há uma aproximação à costa.

Para além da resolução dos dados batimétricos é necessário salientar que a superfície do fundo marinho na área de estudo é constituída por materiais móveis que alteram a morfologia do fundo, tendo uma influência direta nos dados batimétricos. A morfologia do fundo próxima da linha de costa também irá variar conforme a época do ano, evoluindo para o perfil de verão ou inverno. Este tipo de fenómeno também não é traduzido pelos levantamentos, nem pelo processo de modelação de ondas. Acresce que apesar de a maior parte dos temporais ocorrerem no inverno, nem todos os levantamentos batimétricos são realizados no mesmo período, já que a ondulação não permite a realização dos mesmos. Este tipo de modificações morfológicas tem consequências na propagação e nas características da ondulação (APA, 2013a; Martins, 2012; Holthuijsen, 2007). Assim, a utilização de uma malha batimétrica fixa associada a uma determinada data não irá incorporar as mudanças morfológicas que poderão ter ocorrido após o levantamento batimétrico e assim poderão não demonstrar localmente e exatamente as condições de agitação marítima.

De forma a tentar estabelecer a melhor batimetria para a área de estudo foram utilizadas diversas fontes (quadro 4). Iniciou-se a construção do modelo batimétrico de base para a modelação numérica de ondas pelas áreas mais afastadas da linha de costa, onde foi utilizada a batimetria proveniente do *ETOP01* e *EMODnet* (<http://www.emodnet-hydrography.eu/>) (resolução apresentada no quadro 4). Com a

aproximação à costa, foram utilizados dados batimétricos do Instituto Hidrográfico, nas áreas entre o Cabo da Roca e o Cabo Espichel (resolução de 100m), a partir dos quais se geraram duas grelhas de 50m para as áreas de estudo, tal como apresentadas na figura 15. Por fim, ao longo da faixa mais próxima da linha de costa entre Cascais e a margem Sul da freguesia da Costa da Caparica foram utilizados os dados do *LIDAR*, que continham a melhor resolução entre os dados utilizados (quadro 4). Os dados do *LIDAR* utilizados são referentes às cartas 429; 430; 431; 441-B; 442; 453; 464. A análise destes dados levou à criação do *TIN* e posteriormente do modelo numérico de elevação (MNE) para as regiões imersas e emersas da área de estudo. Para a área emersa foi realizada a análise topográfica que levou à extração das altitudes e dos declives sendo estes dados utilizados para a construção do índice de perigosidade. O mesmo processo foi realizado na área submersa, levando à caracterização batimétrica de uma faixa de 500m de distância da linha de costa, introduzida na construção do índice de perigosidade costeira. No entanto, estes dados foram introduzidos na modelação numérica de agitação marítima apenas em setores específicos. Na península de Lisboa, desde Cascais até ao estuário do Tejo, e na península de Setúbal, da Trafaria até à Fonte da Telha. Assim, para a uniformização dos dados das diferentes fontes batimétricas foi criada uma sequência de malhas com diferentes resoluções. A grelha inicial incorporou a margem ocidental ibérica com 1km de resolução espacial. Esta foi utilizada essencialmente para a criação das condições de fronteira, para a transição para malhas mais detalhadas e para a modelação de ondas de largo, sendo fenómenos regionais que se desenvolvem em mar aberto e não são afetados pela batimetria. De seguida, e com a aproximação à linha de costa, foi criada uma grelha de 200m abrangendo toda a área de estudo. Acoplada a esta, definiram-se malhas de maior resolução para as áreas mais próximas da costa, com uma grelha de 50m, as quais serviram para as simulações de temporais excecionais. A distribuição das malhas batimétricas e a respetiva área que ocupam encontra-se apresentada na figura seguinte (Figura 15).

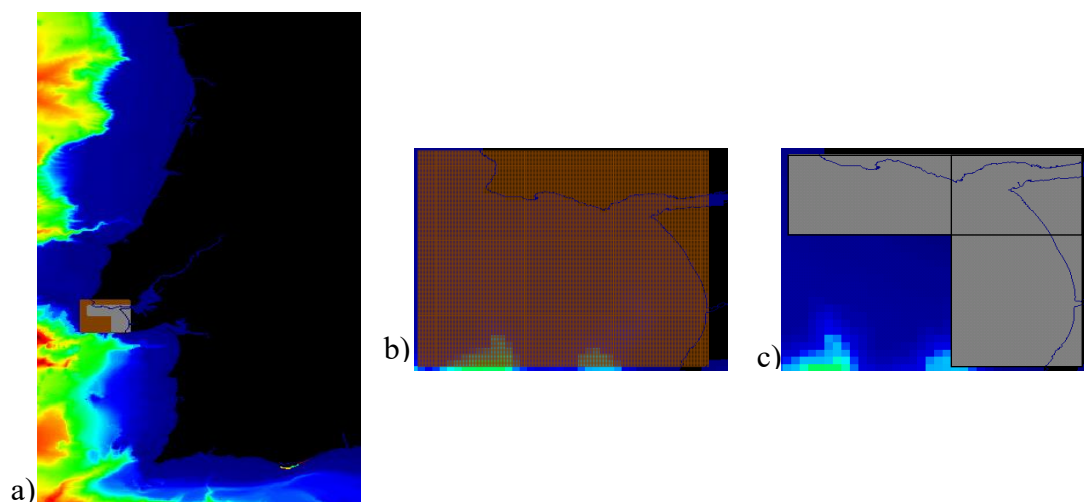


Figura 15 – Representação das áreas de simulação para cada batimetria – a) malha de 1km margem ocidental ibérica; b) malha de 200m para a área entre Cabo da Roca e Cabo Espichel; c) malha de 50m para o litoral sul da península de Lisboa e a margem ocidental da península de Setúbal.

A validação da malha batimétrica é essencial, no entanto, na área de estudo verifica-se a inexistência de vários pontos cotados batimétricos. O único ponto cotado na área, que pode servir como validação, é a boia da Administração do Porto de Lisboa. Esta está localizada a uma profundidade da ordem dos 30m (Ribeiro *et al.*, 2009) o que é coincidente com os dados batimétricos apresentados. A falta de pontos cotados foi colmatada com uma comparação minuciosa de correspondência entre o traçado da linha de costa e a configuração batimétrica junto da mesma. Apesar das fragilidades apresentadas, este modelo batimétrico é considerado suficiente e correto para a realização deste estudo e para o alcance dos objetivos propostos.

A combinação dos diferentes dados batimétricos foi realizada recorrendo ao *software MOHID GIS*. Em primeiro lugar, realizou-se uma triangulação entre os pontos batimétricos cotados, seguindo-se um processo de interpolação dos dados, procurando corrigir os erros criados nas fronteiras entre as diferentes fontes de dados batimétricos.

4.4 – Modelação hidrodinâmica de temporais

A modelação das condições de agitação marítima, correntes e marés tem sido um processo desenvolvido na comunidade científica com bastante sucesso em inúmeros estudos científicos (Booij *et al.*, 1999; Bento, *et al.*, 2010; Ribeiro *et al.*, 2009; Rangel-Buitrago e Anfuso, 2015; Huang *et al.*, 2012; Rogers *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2009). Devido ao avanço tecnológico e o surgimento de supercomputadores diversas técnicas de

modelação numérica têm permitido resolver problemas costeiros com bastante sucesso, tendo custos mais reduzidos e tempos de processamento mais baixo. Os modelos numéricos são utilizados atualmente para a previsão das condições de agitação marítima, permitindo assim o dimensionamento de estruturas de proteção costeira, o estudo das áreas de maior suscetibilidade a temporais e a determinação de alertas de proteção costeira e de alertas para a navegação marítima. A modelação da agitação marítima também se tornou útil para o estudo da energia do oceano para fins comerciais como a produção de energia elétrica, proporcionando uma boa base para o seu desenvolvimento. Assim, a constante melhoria dos modelos de ondas e a determinação correta dos parâmetros da ondulação tem um grande interesse (Thomas e Dwarakish, 2015).

Com o processo de modelação de ondas implementado neste trabalho pretende-se obter um sistema de geração de agitação marítima válido para a margem ocidental ibérica, que permita a introdução de condições de fronteira para a simulação de temporais excecionais junto da linha de costa entre Cascais e o Cabo Espichel. A simulação destes temporais tem como objetivo verificar o desenvolvimento dos parâmetros da ondulação de largo, bem como a distribuição espacial da sua incidência sobre o litoral entre Cascais e Cabo Espichel, permitindo avaliar as áreas de maior perigosidade associada aos temporais extremos.

Para tal efeito, são utilizados dois modelos essenciais em áreas e escalas distintas: (i) *WaveWatch III* (Tolman, 2002) e (ii) *SWAN* (Booij, 1999).

a) *WaveWatch III*

O *WaveWatch III* (WW3) é um modelo espectral de terceira geração utilizado para a descrição e propagação de ondas em áreas de estudo de grande escala. Este modelo é apenas utilizado para áreas oceânicas de elevada profundidade e considera três processos importantes: (i) a interação vento-onda para a geração da ondulação, (ii) a interação não linear onda-onda e (iii) a dissipação por *whitecapping*. As descrições das equações deste modelo, para as três partes referidas, estão presentes no manual do utilizador do WW3 (Tolman, 2002). Neste relatório é utilizada a versão 3.14. Este modelo permite a estimativa de diversas características da ondulação, como a altura significativa da onda, o período e a direção das ondas. Estas são obtidas através da modelação da interação entre o agente forçador (o vento a 10m da superfície oceânica) e a superfície do oceano, para a criação da ondulação. Os dados de vento à superfície estão associados ao *Global Forecasting System* da *NOAA*, cujas análises atmosféricas contêm dados com uma

resolução de 0,5° com uma periodicidade de 3 horas. No contexto deste trabalho, mais importante do que a caracterização marítima nas bacias oceânicas, é a criação das condições de fronteira necessárias para a simulação da agitação marítima em regiões costeiras efetuada pelo *SWAN*.

b) *SWAN (Simulating Waves Near-Shore)*

O modelo *SWAN* também é um modelo que pretende simular a agitação marítima, mas aplicado às áreas costeiras, lagos e estuários, partindo de condições de vento, batimetria e condições de correntes. Este modelo tem a possibilidade de incorporar os seguintes processos: (i) propagação; (ii) refração por efeito do fundo e correntes; (iii) difração de ondas; (iv) *shoaling* por efeito do fundo e correntes; (v) bloqueio e reflexão devido a correntes contrárias; e (vi) transmissão, bloqueio ou refração da energia da onda devido a obstáculos. Para a geração e a dissipação das ondas modelam-se os seguintes processos: (i) geração pelo vento e introdução de condições de fronteira; (ii) dissipação por *whitecapping*, rebentação devido a efeitos de batimetria, (iii) dissipação por atrito no fundo e (iv) dissipação por interação onda-onda (*quadruplets* and *triads*). O número de processos físicos presentes neste modelo é maior, sendo mais complexo que o *WW3* e necessitando de uma capacidade de processamento superior (SWAN, 2007; Hasselmann, 1973, Holthuijsen, 2007). O atrito do fundo e a rebentação induzida pelo fundo são formulados pela função resultante da experiência *JONSWAP (JOint North WAve Project)* realizada no Mar do Norte (Holthuijsen, 2007). Visto que este parâmetro está formulado para uma área distante são certamente introduzidos alguns erros dada a alteração das características da hidrodinâmica.

Anteriormente à utilização dos processos referidos, deverá ser verificado quais são os realmente necessários para obter resultados satisfatórios na área de estudo. Sendo assim, é fortemente aconselhado correr-se a primeira modelação através dos parâmetros estabelecidos por defeito no manual do *SWAN* e de seguida realizar-se o estudo dos parâmetros a utilizar (Booij, 1999; SWAN, 2007). A resolução espacial para os ficheiros de entrada da batimetria terá de ser adequada ao estudo, principalmente em caso de existência de canhões submarinos, barras arenosas ou línguas de areia. Como já foi salientado no ponto anterior, condições de batimetria incorretas podem resultar em estimativas das características de ondas muito diferentes das apresentadas na realidade (Booij, 1999; SWAN, 2007; Gorrell *et al.*, 2010). De acordo com Battjes, (1974), o *SWAN*

oferece diferenças de importância conforme os processos que ocorrem e a área onde estes se desenrolam de acordo com o seguinte quadro:

Quadro 5 – Comparação entre os processos presentes no *SWAN* e a localização onde o seu efeito é mais dominante. Fonte: Holthuijsen, 2007.

Processos	Águas profundas	Águas intermédias	Águas pouco profundas
Geração do vento	XXX	XXX	X
Interações triplas	-	-	XX
Interações quádruplas	XXX	XXX	X
Rebentação parcial	XXX	XXX	X
Atrito do fundo	-	XX	XX
Refração	-	X	XX
Empolamento	-	XX	XXX
Reflexão	-	-	X
Difração	-	-	X

O modelo tem a possibilidade de correr os dados em modo estacionário – não são fornecidos dados de entrada dependentes do tempo, sendo determinadas as condições de fronteira que irão ser propagadas pela restante grelha; ou não-estacionário – onde são fornecidos dados temporais ao modelo. Para obter a validação dos dados este modelo foi corrido em modo não-estacionário, enquanto que a simulação dos temporais excepcionais foi realizada em modo estacionário.

Este modelo de agitação marítima fornece como resultado a H_s ; altura do *swell* da onda; período médio; período de pico da onda; direção média; direção do pico; energia de transporte; vento; e o nível da água. No entanto, com a modelação da agitação marítima no *SWAN* é pretendido estimar a H_s (m). Os erros que podem estar associados aos resultados são diversos – formulação teórica do modelo, qualidade dos dados da base utilizados ou falta do estudo dos parâmetros do modelo para a área.

c) Processo de modelação WW3 + SWAN

A utilização dos modelos WW3 e *SWAN* é, neste estudo, encadeada, tal como foi referido anteriormente. O WW3 proporciona condições de fronteira para o *SWAN* e este propaga as ondas até à linha de costa. Dado que é pretendido chegar a um modelo válido

de modelação de agitação marítima para a margem ocidental ibérica, o processo utilizado é descrito pelas seguintes fases:

- i) Inicialmente, foi escolhido um período que apresente características hidrodinâmicas variadas com diversos picos de onda, de forma a verificar a simulação de diferentes condições de agitação marítima, neste caso o período entre 1 e 30 de abril de 2009;
- ii) Apesar de o período de interesse para a validação se iniciar no dia 1 de abril, foram retirados dados de ventos a partir de dia 15 de março de 2009, de forma a gerar as condições de *spen-up* e dar condições de fronteira iniciais ao modelo;
- iii) Para facilitar o processamento, os dados foram divididos em três grupos: primeiro grupo de 15/03 até 31/03; segundo grupo de 1/04 até 16/04; terceiro grupo de 17/04 até 30/04;
- iv) Os dados foram processados do largo para a linha de costa, segundo o esquema da figura 16. O processo é iniciado no WW3 e de forma a verificar se o modelo funciona corretamente são comparados os dados com as boias ondógrafo presentes na margem ocidental de Portugal. Caso estes resultados se mostrem fiáveis, são utilizadas as condições de fronteira fornecidas pelo WW3 para continuar o processo no SWAN. Apenas nesta fase serão comparados os dados com a boia ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa que serve de validação para o modelo. Se o modelo nesta fase não fosse validado, seria necessária a alteração dos parâmetros do SWAN. Pelo contrário, caso os dados da modelação e os medidos na boia ondógrafo fossem coincidentes, seria possível avançar para a simulação dos temporais extremos.

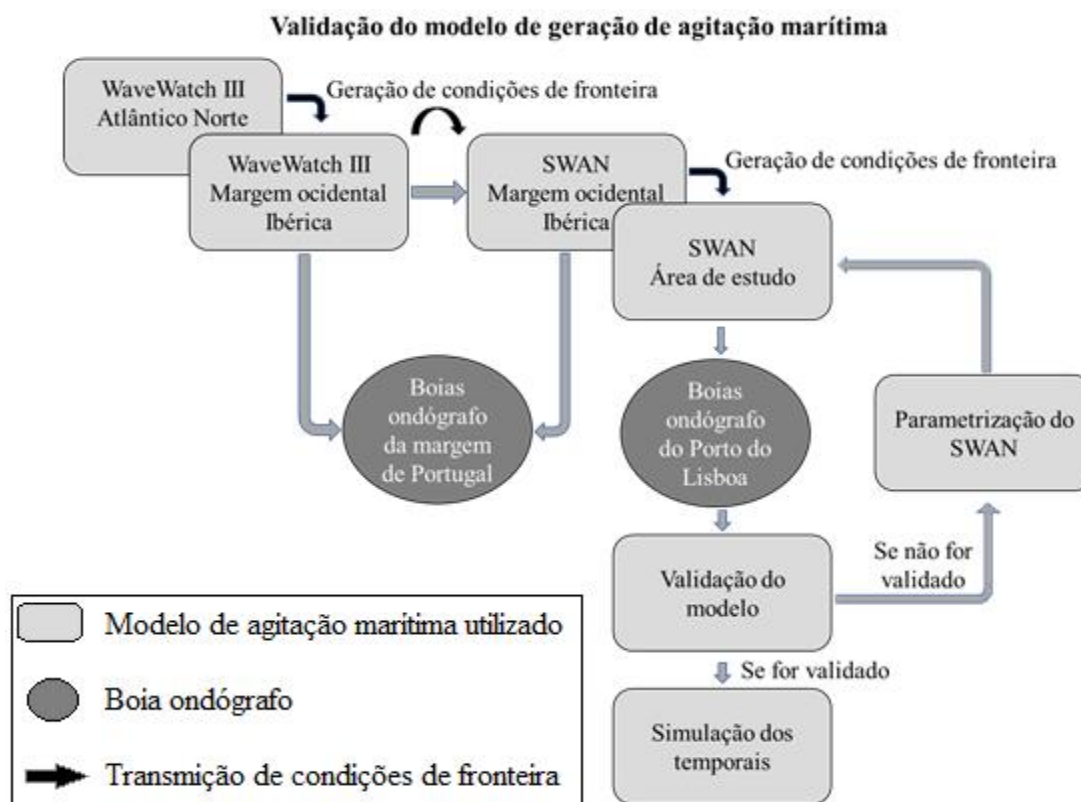


Figura 16 – Esquema representativo do processo de modelação numérica de agitação marítima e da sua validação, na área de estudo.

Os dados do *SWAN* foram comparados com os dados medidos pela boia ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa permitindo a validação do modelo. Após a sua validação, foram introduzidas no modelo as condições de fronteira dos temporais excepcionais. Os resultados da comparação do modelo *SWAN* com os da boia ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa encontram-se apresentados no capítulo 5.2 – Distribuição espacial das características hidrodinâmicas dos temporais. As condições e a escolha dos temporais que foram simulados é realizada através da avaliação dos períodos de retorno dos eventos excepcionais caracterizada detalhadamente no ponto 4.5 – Determinação de períodos de retorno de ondas de temporal.

d) Parametrização do *WaveWatch III* e do *SWAN*

De forma a aplicar os modelos descritos é importante descrever não apenas as características dos modelos, mas também os parâmetros utilizados nesta análise que são importantes para a qualidade dos resultados obtidos.

O processo de aplicação do modelo numérico de ondas *WW3* iniciou-se com a construção de uma grelha espacial retangular, utilizando um sistema de coordenadas

esféricas. A definição das constantes associadas à grelha espacial foi feita conforme as recomendações da *NOAA*, tal como ilustrado no quadro seguinte:

Quadro 6 - Constantes associadas à grelha espacial (SBT1 GAMMA – Fricção do fundo; MISC FLAGtr – Indicação de uma *sub-grid*; CICEO e CICEV – concentração de gelo) Fonte: *NOAA*, 2012. <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/implementations.shtml>.

model	type	coverage and resolution (long., lat.)	Min. depth (m)	Time steps (s)	Additional model settings (namelist input) and comments:
NWW3	global	77°S - 77°N 1.25°x1.°	25	3600 1300 3600 300	&SBT1 GAMMA=-0.038 &MISC FLAGtr=4 CICEO=0.33 CICEV=0.67

Os parâmetros físicos ativados para aplicar este processo foram os agentes forçadores campos de vento, a 10m da superfície, e a profundidade. Apesar de este modelo não ser o mais indicado para áreas de baixa profundidade, como de resto já se tinha afirmado antes, a versão utilizada neste relatório (3.14) já contém alguns parâmetros físicos relativos a estas áreas. No final deste processo foi possível obter dados de altura significativa da onda, direção e pico de onda, assim como condições de fronteira para introdução no *SWAN*.

Para iniciar a simulação no modelo *SWAN* é necessário fornecer as condições de fronteira obtidas através do modelo anterior (*WW3*), com o objetivo de propagar as ondas ao longo da área de estudo até à linha de costa e no período temporal pré-estabelecido. É assim necessário (i) construir a grelha batimétrica com as respetivas resoluções e dimensões (descritas anteriormente no ponto 4.3 – Modelos numéricos de elevação); (ii) indicar as condições de agitação marítima na fronteira; (iii) fornecer informação sobre o regime (estacionário ou não estacionário) e os fenómenos físicos a ter em conta.

O estabelecimento dos parâmetros iniciais foi baseado no manual de utilizador do *SWAN*, mas também em alguns artigos que apresentassem dados relativos a parametrizações na área de estudo. Assim, o zero hidrográfico foi estabelecido em 2,08m relativo ao nível médio do mar no marégrafo de Cascais (Antunes, 2012). Foi também utilizado um sistema de coordenadas de convenção náutica com medição feita a partir do norte, no sentido dos ponteiros do relógio, até à direção de onde vêm as ondas. Por fim, utilizou-se um tipo de coordenadas esféricas – *WGS1984*.

De forma a determinar o domínio do cálculo da simulação (*computational grid*) foi utilizada uma grelha regular, pois esta é uniforme em todo o seu domínio. A malha

batimétrica é igual ao domínio de cálculo. De forma a otimizar a simulação, o modelo foi forçado através de condições de fronteira provenientes do WW3, tal como referido anteriormente.

Esta simulação foi efetuada no modo de 3ª geração, considerando este o vento, as interações entre as ondas e o *whitecapping* como fenómenos a ter em conta. De forma a realizar a dissipação de energia da onda devido ao atrito do fundo foi utilizado o modo JONSWAP, utilizado regularmente para estudos sobre a agitação marítima da costa portuguesa (Bento, *et al.*, 2010; Ribeiro *et al.*, 2009; Capitão e Fortes, 2011; Ruso *et al.*, 2008; Sampaio, 2008). O crescimento da onda é considerado linear (parametrizado como *JANSSEN*), enquanto que se ativaram as interações não lineares entre ondas, neste caso, interações não lineares de três ondas. A dissipação induzida pelo fundo foi considerada constante neste processo, assim como no processo de difração. Ao parâmetro *AGROW* foi dado um valor de 0,0030 dado que Ribeiro *et al.*, (2009) indica que esta alteração levava a uma melhoria dos resultados, fazendo com que a altura significativa se aproximasse mais dos valores pico.

A computação deste processo resultou na aquisição de dados espacializados da altura significativa da onda, do período médio e da direção média. Os resultados da modelação serão apresentados detalhadamente no capítulo 5.2 – Distribuição espacial das características hidrodinâmicas dos temporais.

De forma a realizar as simulações dos temporais excecionais, primeiro foram determinados os períodos de retorno da H_s e do período médio dos temporais para 5, 10, 25, 50 e 100 anos e posteriormente foi utilizada esta informação de forma a estabelecer as condições iniciais das simulações. A direção da onda foi estabelecida como proveniente de NO (315°) em todas as simulações, pois segundo Sousa (2015), apesar de existirem quatro rumos possíveis de direção de ondulação para os temporais na costa ocidental de Portugal continental (sudoeste, oeste, noroeste e norte), o rumo noroeste constitui o rumo mais frequente durante os temporais, ocorrendo em cerca de 65% dos casos. Estes dados foram impostos numa linha de fronteira norte, oeste e sul, sendo apenas desativada a fronteira este, dado que esta se encontrava em área continental.

Em razão do modelo não-estacionário ter sido utilizado para a validação, as condições físicas e numéricas utilizadas neste processo foram mantidas no modelo estacionário. A simulação de cada um dos temporais foi subdividida em 4 fases diferentes, iniciando-se na malha de 1km, utilizada da margem ocidental ibérica, e passando para uma malha de 200m de resolução, para a área entre Cabo da Roca e Cabo Espichel.

Finalmente, a simulação foi desenvolvida ao longo das duas malhas de 50m para a margem sul da península de Lisboa e para margem ocidental da península de Setúbal. Estas áreas foram escolhidas evitando interromper as estruturas submarinas que pudessem afetar de forma significativa o desenvolvimento da ondulação em direção à linha de costa. Entre cada uma das malhas foram criadas e guardadas condições de fronteira que proporcionaram a introdução dos resultados anteriores na nova malha. A figura 15 representa a área de cada uma das áreas utilizadas para a simulação. Os resultados foram extraídos para ficheiros com extensão .hdf5 e posteriormente abertos no *ArcGis* através de ficheiros .xyz.

4.5 - Determinação de períodos de retorno de ondas de temporal

O período de retorno é o período de tempo médio que um determinado fenómeno extremo é igualado ou mesmo superado pelo menos uma vez. De forma a projetar e garantir uma construção segura para qualquer tipo de infraestrutura (estradas; portos; barragens; paredões, etc.) é necessário estimar os valores extremos de um evento que poderá afetar as mesmas estruturas (Sartini *et al.*, 2015). É neste contexto que o estudo dos períodos de retorno tem grande interesse. No caso das áreas costeiras e do estudo de temporais, a H_s é a variável mais importante para a análise dos períodos de retorno, no entanto também é frequente o cálculo o período de retorno do período da onda.

De modo a alcançar o cálculo dos períodos de retorno das ondas de temporal para a área de estudo foi utilizado o programa de distribuição livre R_c (*R-Project – The R_c Foundation for Statistical Computing*), utilizando os algoritmos de distribuição generalizada de valores extremos, com os módulos *evd* (*Extreme value distribution*) e *ismev* (*Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*), sendo estas funções as mais utilizadas para o estudo da distribuição dos dados extremos (Coles, 2001).

O estudo dos valores extremos da ondulação, apesar de essencial, necessita de dados de elevada qualidade, ou seja, séries temporais longas e sem falhas nos dados. Muitas vezes, observa-se que as séries temporais das boias ondógrafo existentes na costa portuguesa possuem séries limitadas no tempo e com lacunas nos dados. Assim, recorreu-se aos dados de ondulação modelada para a costa portuguesa fornecidos pelo projeto *micore* - (<http://disepla.fc.ul.pt/Micore/WaveModel.html>) (Dodet *et al.*, 2010). A série compreende dados de altura significativa da onda (média e máxima), período de onda (médio e máximo) e direção mais frequente, entre janeiro de 1953 até maio de 2009, com

um intervalo de 6h entre os valores. Apesar de neste projeto serem consideradas 6 boias, apenas três destas estavam situadas no litoral de Portugal, nomeadamente a de Leixões, a da Figueira da Foz e a de Sines. Dada a inexistência de uma boia na área de estudo, optou-se pela realização da análise da boia de Sines por se encontrar mais próxima do litoral analisado neste trabalho. Tal como referido anteriormente, estes dados encontram-se validados segundo o estudo de Dodet *et al.*, (2010).

A distribuição dos valores extremos é calculada e analisada através de uma das seguintes três classe – *Gumbel* (Tipo I), *Fréchet* (Tipo II) e *Weibull* (Tipo III), apresentadas segundo o gráfico da figura 17. A «cauda» das três funções evolui de forma distinta – na distribuição de *Weibull*, o último ponto é finito, o que não ocorre nas duas restantes distribuições. No entanto, também ocorre a diferenciação entre as duas funções restantes, pois na função de *Gumbel* a densidade decai exponencialmente, enquanto que no decorrer da função de *Fréchet* a função decai de forma polinomial (Omeij *et al.*, 2009; Coles, 2001). As equações que definem as referidas funções são as seguintes:

Distribuição de *Gumbel*:

$$Pr[X \leq x] = \exp[-e^{(x-\mu)/\sigma}] \quad (1)$$

Distribuição de *Fréchet*:

$$Pr[X \leq x] = \begin{cases} 0, & x < \mu \\ \exp\left\{-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-\xi_f}\right\}, & x \geq \mu \end{cases} \quad (2)$$

Distribuição de *Weibull*:

$$Pr[X \leq x] = \begin{cases} \exp\left\{-\left(\frac{\mu-x}{\sigma}\right)^{\xi_f}\right\}, & x \leq \mu \\ 0, & x > \mu \end{cases} \quad (3)$$

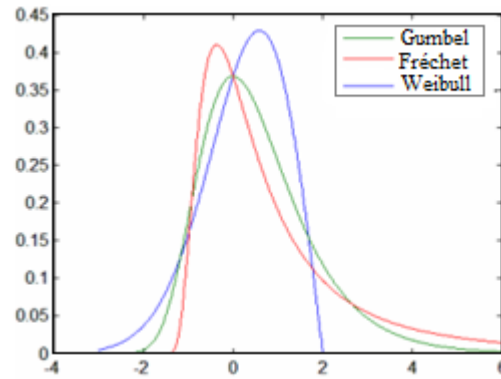


Figura 17 – Identificação das diferentes equações da função de *Gumbel*, *Fréchet* e *Weibull* com a representação das respetivas retas de equação. μ - Localiza o centro da amostra; σ - Representa a dispersão em torno do ponto central; ξ_f - Uma das três formas possíveis da distribuição.

Através da combinação de três modelos apenas numa função é formada a distribuição generalizada de valores extremos (*GEV - generalized extreme value distribution*). A unificação destas funções facilita a análise estatística, e assim, é pretendido explicar o comportamento dos valores extremos de determinada variável independente. Este tipo de análise utiliza a cauda da distribuição para realizar deduções estatísticas para além dos dados existentes, levando à previsão dos valores esperados

sobre o fenómeno (Omeiy *et al.*, 2009; Coles, 2001). A *GEV* encontra-se expressa pela seguinte expressão:

$$G(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi_f \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right] \right\}^{(-1/\xi_f)} \quad (4)$$

Figura 18 - Nesta função, μ – depende da escala, sendo relativo ao parâmetro da localização; σ – corresponde ao parâmetro da escala; ξ_f – forma da curva de distribuição. Assim, caso $\xi_f \approx 0$, a distribuição é a de *Gumbel*; caso $\xi_f > 0$, a distribuição é a de *Fréchet* e caso $\xi_f < 0$, a distribuição é a de *Weibull*.

Através da adoção de uma das equações apresentadas anteriormente através dos valores do modelo, são evitadas escolhas que possam conter subjetividade.

É de notar que foram desenvolvidos diversos métodos para a determinação de valores extremos e avaliação dos períodos de retorno. No estudo realizado por Martucci *et al.*, (2010) onde está presente o estudo da distribuição de H_s para a costa italiana entre 1958 e 1999 é indicado que existem dois métodos amplamente utilizados na comunidade científica e considerados fidedignos – o *r-largest anual maxima* e o *peak-over-threshold (POT)*. O primeiro corresponde à escolha dos valores mais elevados de cada ano presente na série temporal; o segundo utiliza um linear a partir do qual são escolhidos os valores da base de dados.

a) *peak-over-threshold (POT)*

A utilização deste método pressupõe a escolha de um limite que depende diretamente da base de dados utilizada. Este limiar deve incorporar os dados sobre a localização geográfica, a época de estudo e a origem da ondulação. O mesmo autor também conclui que o método *r-largest anual maxima* apresenta dados mais fiáveis para análises de períodos de retorno inferiores a 100 anos. Neste relatório foram utilizados os dois métodos, sendo que no método *POT* foi estabelecido um limite de 5m de H_s , dado que quando ultrapassado este valor, segundo a definição apresentada anteriormente, ocorre um temporal na costa ocidental de Portugal Continental. Também foi realizada uma análise utilizando o valor de H_s de 7m (figura 19), utilizando um dos métodos referenciados em Scarrott e McDonold (2012). Esta metodologia baseia-se na construção de um gráfico do resíduo médio, sendo posteriormente selecionado o limite mais baixo

onde o gráfico é aproximadamente linear, tendo em conta o intervalo de confiança de 95%.

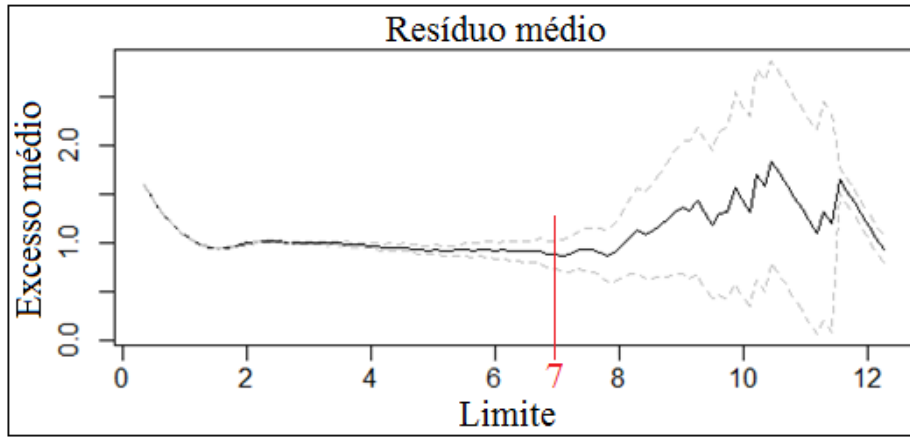


Figura 19 – Estabelecimento de um linear para o método *POT*, através do resíduo médio dos valores de altura significativa de onda da boia de Sines utilizando os dados do projeto *micore* (Dodet *et al.*, 2010).

b) *r-largest annual maxima*

O método *r-largest annual maxima* foi testado com o valor máximo de H_s atingido em cada ano, mas também foi testado com a H_s máxima mensal atingida nos meses de inverno marítimo (setembro a abril) de cada ano e com a série de dados completa, pretendendo assim procurar a melhor metodologia de análise para os períodos de retorno.

Através do método descrito foram calculados os parâmetros de localização (μ), de escala (σ) e de forma das distribuições (ξ_f), contidos no algoritmo da *GEV* e a sua respetiva precisão num intervalo de confiança de 95%, tendo em conta o ajuste do modelo aos dados observados. Através do algoritmo de cálculo dos períodos de retorno foram calculados os valores de H_s para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

$$x_p = \mu - \frac{\sigma}{\xi_f} [1 - \{-\log(1 - p)\}^{\xi_f}] \quad (5)$$

Figura 20 – Cálculo do período de retorno; p corresponde ao período de retorno pretendido (100 anos $\approx 0,01$; 50 anos $\approx 0,02$; 25 anos $\approx 0,04$; 10 anos $\approx 0,1$; 5 anos $\approx 0,2$).

4.6 – Indicadores de perigosidade associados a temporais

Para o estudo da perigosidade de temporais marítimos foram verificados distintos modelos, sendo o mais frequente a construção do *CVI (Coastal Vulnerability Index)*, mas também são identificados relatórios com a utilização de análise estatística ou de modelos numéricos. Estes modelos de análise foram descritos anteriormente no capítulo 1.3 – Indicadores de perigosidade associados a temporais, acompanhados com a respetiva bibliografia (Seenath *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017; Rangel-Buitrago e Anfuso, 2015; *Kinetic Analysis Corporation* 2013; Moritz e Moritz, 2006). Dado este trabalho incidir sobre a perspetiva da geografia física, a caracterização espacial de todas as variáveis do território importantes para a incidência de temporais é essencial, no entanto a falta de dados sobre as características da ondulação na proximidade da costa conduziu à utilização de modelos numéricos para a caracterização da ondulação. Deste modo, pretendeu-se obter os dados mais corretos para o cálculo da perigosidade costeira. Não foi utilizado apenas um modelo de modelação numérica de ondulação, dado que este não seria suficiente para a caracterização de todas as variáveis costeiras importantes para a diferenciação da favorabilidade à incidência de temporais marítimos. Assim, foi considerado que a combinação dos dois métodos permite a obtenção das variáveis mais importantes para o estudo deste fenómeno.

A construção do indicador de perigosidade costeira é um processo que pode ser dividido em diversas fases: i) a seleção das variáveis essenciais para o estudo da perigosidade – realizado através de revisão da literatura científica sobre o tema estudo; ii) o estudo da agregação das variáveis e a análise hierárquica entre as mesmas; iii) a representação cartográfica das mesmas variáveis e a sua classificação com um índice de 1 a 5 (de favorabilidade baixa/nula a muito elevada à ocorrência de temporais); iv) a construção do índice de perigosidade costeira; e v) o processo de validação do mapa obtido.

Tal como referido no ponto 4.1 – Fontes de dados, deste capítulo, a escolha das variáveis a utilizar neste relatório foi realizada através da revisão da literatura científica. Dado que foram escolhidos apenas os artigos que se focavam no estudo de temporais marítimos, as variáveis encontradas e utilizadas nesta investigação foram as seguintes, também descritas no ponto 4.1 – Fontes de dados, deste capítulo: ondulação, COS, BGRI, altitude, declive, geologia, geomorfologia, tendência da costa, orientação, batimetria e área protegida.

Devido ao elevado número de variáveis e à diferente forma como favorecem a ocorrência de consequências dos temporais, as variáveis foram agrupadas em diferentes *clusters* hierárquicos. Estes *clusters* encontram-se apresentados no quadro 8, ocorrendo do mais importante para o de menor importância. A definição dos clusters foi realizada através de uma *Analytic Hierarchy Process AHP* (Saaty, 1987), sendo que foram analisadas as hierarquias utilizadas por outros autores de forma a servir de comparação (Rangel-Buitrago e Anfuso, 2015; Coelho *et al.*, 2006; Rocha, 2016).

Na sequência da definição dos *clusters* procedeu-se à análise da hierarquia das variáveis, utilizando o método *AHP* (Saaty, 1987). A utilização deste método tem como objetivo verificar as diferentes combinações possíveis entre as variáveis, com escalas diferenciadas, tendo por base o conhecimento e a informação existente sobre o tema. A hierarquia das diferentes variáveis é obtida através da comparação direta entre todas as variáveis, estabelecendo a diferença de importância entre as mesmas com um nível de 1 a 9, quadro 7 (Saaty, 1987; Rocha, 2016). A explicação de cada um dos níveis é apresentada de seguida, segundo Saaty, 1987.

Quadro 7 – Escala utilizada para definir as diferenças hierárquicas entre as variáveis e as respetivas definições; Fonte: Saaty, 1987.

<i>Intensity of Importance</i>	<i>Definition</i>	<i>Explanation</i>
1	Equal Importance	Two activities contribute equally to the objective
2	Weak or slight	
3	Moderate importance	Experience and judgement slightly favour one activity over another
4	Moderate plus	
5	Strong importance	Experience and judgement strongly favour one activity over another
6	Strong plus	
7	Very strong or demonstrated importance	An activity is favoured very strongly over another; its dominance demonstrated in practice
8	Very, very strong	
9	Extreme importance	The evidence favouring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
Reciprocals of above	If activity <i>i</i> has one of the above non-zero numbers assigned to it when compared with activity <i>j</i> , then <i>j</i> has the reciprocal value when compared with <i>i</i>	A reasonable assumption
1.1–1.9	If the activities are very close	May be difficult to assign the best value but when compared with other contrasting activities the size of the small numbers would not be too noticeable, yet they can still indicate the relative importance of the activities.

De forma a alcançar os vetores de pesos, Saaty (1987) baseou-se no conceito de vetores próprios (*eigenvalues*) associados aos sistemas de equações lineares. Assim, os

valores próprios são utilizados para extração dos pesos (vetores de propriedade) a partir de uma matriz de comparação de critérios (Rocha, 2016).

Após o cruzamento de todas as variáveis, determinou-se o coeficiente de consistência para avaliar a coerência das decisões tomadas no cruzamento das variáveis. Segundo Saaty (1987) o resultado deste índice é aceitável em termos de consistência quando o seu valor é inferior a 0,1. No caso deste estudo, com o cruzamento das variáveis referidas anteriormente, resultou um coeficiente de consistência de 0,06.

No quadro seguinte apresenta-se as variáveis analisadas, o fator de ponderação dado pela importância de cada variável e os clusters pré-estabelecidos.

Quadro 8 – Definição das variáveis utilizadas e da importância atribuída a cada uma delas.

Variáveis	Importância de cada fator	Cluster
Ondulação	25,6%	1
COS	11,9%	2
BGRI	11,9%	2
Altitude	11,9%	2
Declive	11,9%	2
Geologia	4,2%	3
Geomorfologia	4,2%	3
Tendência da costa	4,2%	3
Largura dos sistemas	4,2%	3
Orientação	4,2%	3
Batimetria	4,2%	3
Áreas protegidas	1,6%	4

Desta forma, estabeleceu-se a importância de cada uma das variáveis, sendo identificados quatro grupos principais. O primeiro grupo é referente à ondulação que se destacou em relação às variáveis anteriores sendo o agente forçador dos temporais. O grupo dois é constituído por uma série de variáveis que tinham grande importância para os temporais. O declive e a altitude, devido à forma como podem alterar o impacto e a progressão da ondulação para o interior. As duas variáveis que descrevem a ocupação humana foram caracterizadas como essenciais, pois estas áreas são as que sofrem o maior número de ocorrências em caso de temporais. Também se verifica que este trabalho não analisa as infraestruturas e as áreas ocupadas que poderão ser afetadas em caso de inundações costeiras, e por este motivo a atribuição de uma elevada importância a estas áreas favorece a precaução a tomar em litorais fortemente artificializados. O terceiro

grupo é composto por variáveis consideradas relevantes para a descrição das características físicas do território e que podem levar a alterações na favorabilidade a temporais. O último grupo apenas é constituído pela variável das áreas protegidas e é incluído dada a importância das áreas com relevante biodiversidade ou monumentos geológicos/geomorfológicos.

De forma a ser possível realizar a combinação das diversas variáveis procedeu-se à reclassificação de cada uma delas em 5 classes, representativas do grau nulo de favorabilidade a ocorrência de temporais (grau 1) até à favorabilidade muito elevada (grau 5). A classificação de cada uma das variáveis foi realizada tendo em conta a área de estudo, encontrando-se os critérios descritos no quadro 9. De forma a realizar a classificação foi verificada a distribuição espacial de cada uma das variáveis e a sua composição, classificando com níveis mais baixos as classes que tinham menor favorabilidade a ocorrência de temporais e níveis mais elevados em áreas com maior propensão à incidência deste evento extremo. A divisão das classes foi realizada utilizando o método das quebras naturais.

CSHI IHP	Variáveis independentes	Classificação das variáveis independentes Segundo a favorabilidade a ocorrência de temporais				
		Nula/Muito baixa (1)	Baixa (2)	Média (3)	Elevada (4)	Muito elevada (5)
a	H_s do evento extremo de 100 anos	0 - 2,7	2,7 - 4,8	4,8 - 6,3	6,3 - 7,7	7,7 - 12,4
b	COS	Florestas	Florestas abertas e vegetação arbustiva	Áreas descobertas e com pouca vegetação	Culturas temporárias	Tecido urbano, áreas ocupadas por elementos antrópicos
c	BGRI	0	0,28 - 2,85	2,28 - 12	12 - 33	33 - 44
d	Altitude (m)	30-131	15-30	10-15	5-10	0-5
e	Declive (°)	50-84	30-50	15-30	6-15	0-6
f	Geologia	Rochas vulcânicas, metamórficas	Calcários, margas	Rochas sedimentares	Dunas e outros depósitos não consolidados	Areias de praia
g	Geomorfologia	Artificializado	Rochoso elevado	Rochoso baixo	Praia-Arriba	Costa arenosa
h	Tendência da costa	Acreção	Nula	Erosão baixa	Erosão moderada	Erosão elevada
i	Largura do Sistema (m)	363 - 680	254 - 363	179 - 254	102 - 179	1 - 102
j	Orientação	SE	S	OSO	O	ONO
k	Batimetria (m)	-2,2 - 0	-5,3 - -2,2	-8,5 - -5,3	-12,5 - -8,5	-20,6 - -12,5
l	Áreas protegidas	Sem presença de áreas protegidas	-	-	-	Presença de áreas protegidas

Quadro 9 - Classificação das variáveis usadas para o estudo da perigosidade costeira a temporais.

Após a reclassificação de todas as variáveis, através das parcelas de 50m (explicadas no capítulo 4.2 – Definição das unidades elementares do litoral) e através da ferramenta de *zonal statistics* do *ArcGIS* foi realizada a classificação de cada uma destas variáveis segundo as parcelas.

Por fim, o cálculo do Índice de Perigosidade Costeira foi determinado através da fórmula seguinte, que consiste na determinação da raiz quadrada do produto de todas as variáveis ponderadas a dividir pelo número de variáveis (Gornitz *et al.*, 1994; Thieler *et al.*, 1999). Nesta fórmula, todas as letras de «a» ao «l» encontram-se apresentadas segundo a ordem e o peso estabelecidos na figura 21.

$$IPC = \sqrt{\frac{25,6 * a * 11,9 * b * 11,9 * c * 11,9 * d * 11,9 * e * 4,2 * f * 4,2 * g * 4,2 * h * 4,2 * i * 4,2 * j * 4,2 * k * 1,6 * l}{12}} \quad (6)$$

Figura 21 – Equação de cálculo do índice de perigosidade costeira. As letras apresentadas encontram-se pela mesma ordem e descrição do quadro 9.

Após obter o mapa de perigosidade foi procurada a realização da validação do método e dos dados obtidos.

A validação do mapa é essencial para poder concluir-se que a cartografia de perigosidade realizada está adaptada à realidade. No caso dos temporais, a maior parte dos estudos verificados realizavam uma validação qualitativa através da comparação dos resultados com os impactos de temporais significativos. De forma a obter a validação dos resultados apresentados segundo o índice de perigosidade costeira (eq. 6) foram representadas cartograficamente todas as ocorrências registadas devido a situações de temporais. No entanto, sendo que a maior parte das ocorrências não podiam ser georreferenciadas com exatidão, devido à falta de informação nos jornais e dado que os temporais não são um evento pontual, mas abrangem extensas áreas, foi realizado um buffer de 500m em torno de cada uma das ocorrências e avaliada a classe de perigosidade mais elevada que é inserida neste raio. Assim, pode ser concluído que o mapa é válido se as ocorrências se encontrarem a pelo menos 500m de áreas com perigosidade elevada.

4.7 - Sinopse:

Para a construção do índice de perigosidade o trabalho metodológico é dividido em diferentes etapas. É necessária a divisão entre o processo de modelação da agitação marítima, com o cálculo dos períodos de retorno dos eventos extremos, e o processo de análise espacial das diferentes variáveis utilizadas para a descrição das condições costeiras.

A variável da ondulação foi obtida através do cálculo do período de retorno de 100 anos, utilizando os dados do projeto *micore*. O valor de H_s do período de retorno de 100 anos para a boia ondógrafo de Sines obteve um resultado de 12,9m, valor este que foi posteriormente utilizado para simulação através do *SWAN*. Deste modo, possibilitou-se a obtenção da distribuição espacial dos valores de H_s do fator desencadeante dos temporais. Anteriormente à modelação deste evento extremo, o modelo de agitação marítima foi validado utilizando os dados da boia ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa, por ser esta a boia que mais próxima da área de estudo se encontra.

As variáveis COS, BGRI, altitude, declive, geologia, geomorfologia, tendência da costa, largura dos sistemas, orientação da linha de costa, batimetria e áreas protegidas foram as restantes variáveis utilizadas, sendo o seu peso ponderado através de uma análise hierárquica.

Todas as variáveis apresentadas anteriormente foram classificadas num índice de 1 a 5 que permitia definir as classes de maior favorabilidade de ocorrência a temporais. As variáveis foram classificadas utilizando o método das quebras naturais. Assim, tornou-se possível o relacionamento entre as diferentes variáveis e o cálculo do índice de perigosidade costeira através da equação apresentada na figura 21.

Capítulo 5 – Os temporais no arco Cabo Raso – Cabo Espichel

Como se referiu no capítulo 1, a ocorrência de temporais marítimos tem provocado graves consequências económicas e sociais no litoral. A área costeira analisada nesta dissertação tem características morfológicas que permitem o acréscimo da favorabilidade a temporais marítimos com consequências gravosas, essencialmente nos largos sectores arenosos de baixa altitude descritos no capítulo 3. Tal como explicado no capítulo referente às metodologias, nesta dissertação foi adotada a modelação numérica para a caracterização da hidrodinâmica e a análise espacial das variáveis mais importantes para a caracterização da favorabilidade da costa a temporais. Assim, no capítulo iniciado é realizada a análise dos períodos de retorno dos eventos excecionais, a análise da hidrodinâmica associada aos eventos extremos (recorrendo à modelação), a quantificação dos temporais mais recentes e o cálculo da perigosidade costeira. A análise destes tópicos permite obter as respostas aos objetivos propostos anteriormente.

5.1 - Períodos de retorno associados aos temporais

Em Portugal, diversos estudos têm abordado a questão dos períodos de retorno da ondulação, existindo diferentes valores citados na bibliografia (quadro 10). É importante ter em consideração que os estudos realizados pelos diversos autores utilizaram séries temporais distintas para áreas de estudo com hidrodinâmicas também distintas, havendo assim variações significativas nos valores. O quadro 10 apresenta valores associados a períodos de retorno para diferentes pontos da costa ocidental de Portugal.

Quadro 10 – Valores dos períodos de retorno para Portugal estabelecidos por diversos autores.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Dias, 1997.

Autores	Pires e Pessanha, (1986)	Carvalho, (1992)	Ferreira, (1993)	Silva, <i>et al.</i> , (2008)	Trindade, (2010)		Reis <i>et al.</i> , (2014)	
Área P.R.	Cabo da Roca	Figueira da Foz	Costa ocidental de Portugal	Leixões	Peniche		Sines	
1	—	—	6,6	—	—	—	—	—

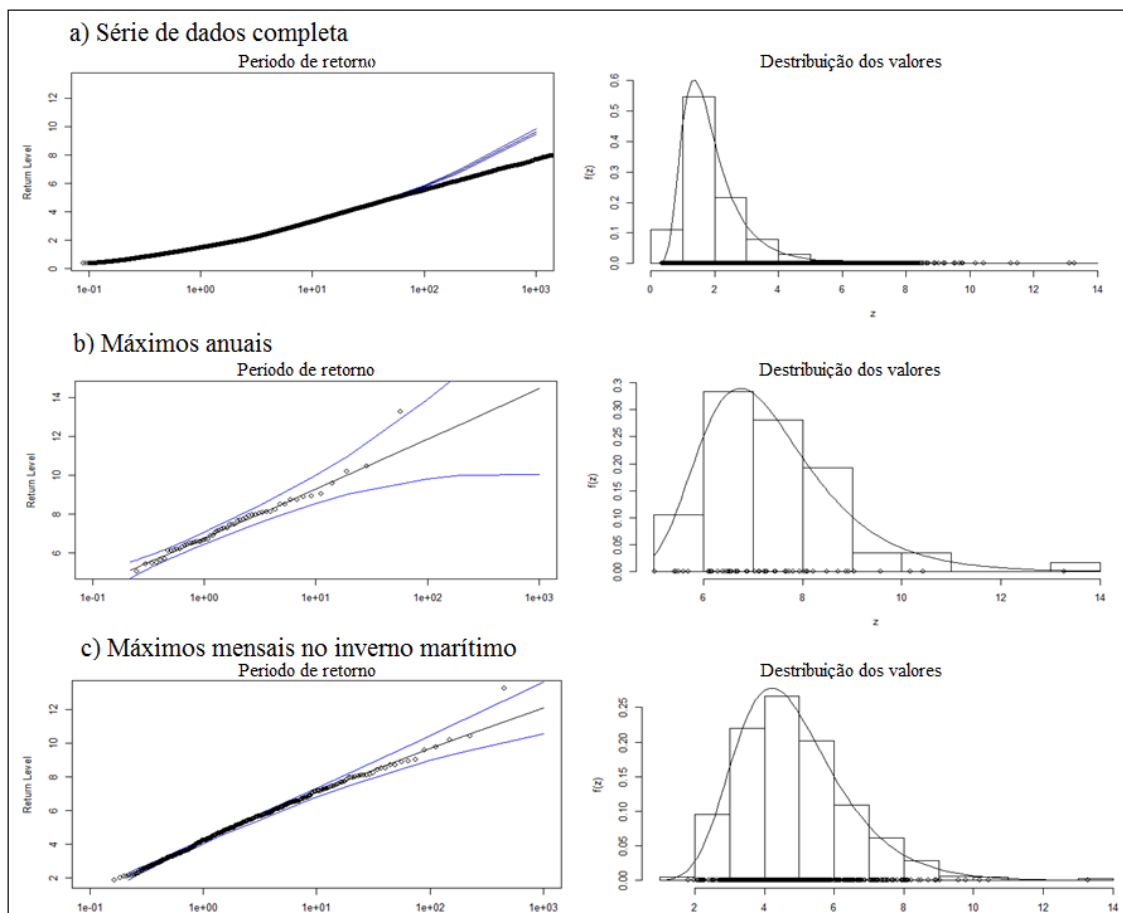
5	9,5	9,5-10	9,2	—	5,57	6,98	—	—
10	10,4	—	10,3	8,05	6,27	8,15	—	—
25	11,4	—	11,8	—	7,77	10,40	—	—
50	12,4	11,5-13,6	12,9	9,09	9,60	12,89	10	13
100	13,1	12,4-15,5	14	9,53	12,38	16,36	11	14

Os estudos mais antigos apresentavam problemas relacionados com a utilização de séries longas de dados. As diferenças no período de retorno apresentadas segundo Reis *et al.*, (2014) são representativas da série de dados utilizada. O valor de 11m para o período de retorno de 100 anos foi alcançado através de um regime de extremos de 18 anos de dados da boia ondógrafo direcional de Sines. Para o resultado de 14m de período de retorno de 100 anos, a análise foi baseada em 25 anos de previsões de um modelo de reconstituição de agitação marítima (Reis *et al.*, 2014). É essencial referir que estes valores apresentados pelos autores (quadro 10) foram obtidos através de técnicas estatísticas por vezes distintas, o que acabará por proporcionar diferenças nos resultados apresentados. Silva *et al.*, (2008) refere que a escolha da posição gráfica para a estimativa da função de distribuição da amostra influencia a qualidade do ajuste, o que se reflete na obtenção das alturas significativas da onda, com variações que aumentam com o período de retorno, entre 12% e 20%. A diferenciação dos valores apresentados por Trindade (2010) reflete a utilização dos valores de alturas significativas (H_s) de temporal e de alturas máximas (H_{max}) > 5m presentes na série de Peniche. Através do quadro 10 é verificado que o valor do período de retorno de 100 anos calculado para a costa ocidental portuguesa é de 14m (Ferreira, 1993). No entanto, analisando os dados do quadro anterior, é possível verificar que a área estudada mais próxima da área de estudo desta dissertação é o Cabo da Roca, onde Pires e Pessanha, (1986) identificam um valor de 13,1m, ou seja, ligeiramente inferior aos apresentados para a costa ocidental de Portugal. Segundo a análise dos períodos de retorno apresentados no quadro 10, não é possível identificar em que região os temporais são mais gravosos ou os locais onde a agitação marítima tem tendências para ser superior.

Observando os dados apresentados no quadro 10 é possível verificar resultados da análise do período de retorno para uma grande diversidade de locais da margem ocidental de Portugal, no entanto, e dado que neste relatório são analisados os dados modelados para a boia de Sines, será realizada a comparação entre os mesmos com os dados obtidos também para Sines ou com os dados para a costa ocidental portuguesa. Apesar de

existirem diversos trabalhos sobre os períodos de retorno para a área estudada neste relatório, optou-se por calcular os eventos extremos de forma a analisar a base de dados do projeto *micore* (Dodet *et al.*, 2010) que contém uma série de dados longa e completa. Desta forma seria possível a introdução de valores de períodos de retorno atualizados.

Tal como descrito anteriormente, no ponto 4.5 – Determinação de períodos de retorno de ondas de temporal, no capítulo referente às metodologias foi realizado o estudo dos períodos de retorno sobre os dados *micore* (1953-2009) utilizando: (i) a série de dados completa; (ii) os máximos anuais; (iii) os dados máximos mensais (do inverno marítimo); (iv) $POT > 5m$; (v) $POT > 7m$. A utilização de diversos métodos foi feita de forma a procurar encontrar o melhor método para o estudo do período de retorno da H_s . A figura 22 apresenta os resultados de todos os métodos testados e referidos anteriormente.



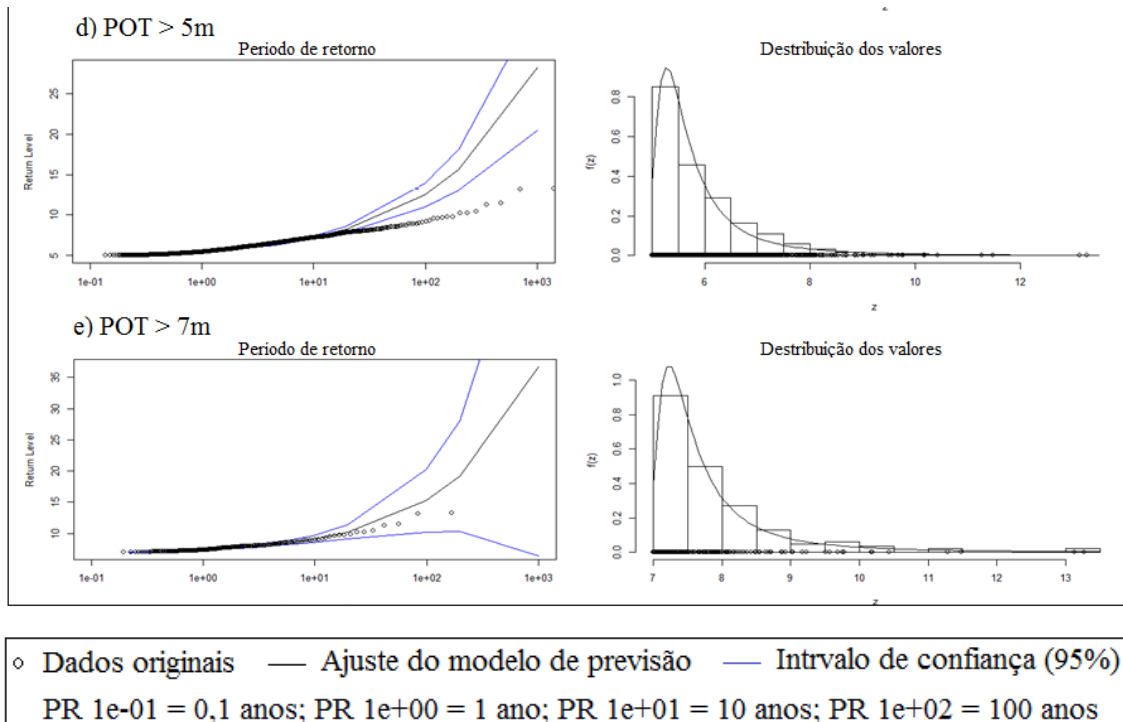


Figura 22 – Gráficos referentes ao período de retorno e à distribuição da série de valores em cada análise efetuada.

Através da análise dos gráficos apresentados na figura 22 é possível identificar vários métodos que não estão corretamente ajustados ao intervalo de confiança de 95% e que, por este motivo, não poderiam ser representativos de uma análise correta. Este caso verifica-se com a análise da série de dados completa (fig. 22a) e com o método POT > 5m (fig. 22d). Na figura 22a é possível constatar que a maior parte dos valores de H_s se encontra entre 1m e 2m, não sendo estes representativos de valores extremos. No método POT > 5m, na figura 22d, também se verificou que grande parte dos dados se encontravam na ordem dos 5m. O desajuste entre os dados originais (representados com círculos) e o modelo, nos dois casos descritos, deve-se essencialmente à existência de grande proporção de dados não representativos de valores extremos. Mesmo no caso da figura 22d, a desproporção de dados entre os 5m e os 6m de H_s face aos picos de valores, ou aos valores realmente extremos, dita o completo desajuste do modelo estatístico face aos dados observados. Pelo contrário, a utilização de valores muito elevados iria permitir a introdução de cenários pouco representativos das variações anuais máximas da H_s (Fig. 22e), levando a previsões de cenários extremos pouco representativos da realidade. No gráfico e), a distribuição dos valores de H_s ocorre, maioritariamente, entre 7m e 7,5m. Com a presença de um limite tão elevado (7m), todos os valores englobados na análise

são de elevada magnitude, o que poderá levar à sobrestimava dos valores reais. Também se observa que para este cenário de análise o intervalo de confiança de um valor estimado para um período de retorno de 100 anos ronda os 10m de H_s , evidenciando resultados não aceitáveis.

Os cenários de análise de períodos de retornos calculados com recurso a dados de H_s de máximos anuais (fig. 22b) e máximos mensais dos meses de inverno marítimo (fig. 22c) são os que apresentam a distribuição dos valores das respetivas séries de dados dentro das curvas dos intervalos de confiança de 95% e com intervalos de confiança mais reduzidos.

Assim, as diferentes análises proporcionaram resultados distintos, que são analisados e comparados na figura apresentada em seguida, no quadro 11.

Quadro 11 – Resultados dos métodos aplicados e comparação com valores da bibliografia.

Período de retorno	Dados máximos mensais	Máximos anuais	Reis <i>et al.</i> , (2014)		
100 anos	9,7 m	12,9 m	11 m	14 m	12 m
50 anos	8,9 m	11,8 m	10 m	13 m	11 m
25 anos	8,1 m	10,7 m			
10 anos	6,9 m	9,4 m			
5 anos	6,1 m	8,5 m			

A utilização dos dados máximos mensais aproximava o valor dos 10m, no período de retorno de 100 anos. No entanto, segundo os dados bibliográficos registados, as ondas de 10m ocorrem em períodos de retorno de 50 anos, sendo frequentemente ultrapassadas (Reis *et al.*, 2014). A análise dos dados máximos anuais conduziu a resultados de H_s superiores em todos os cenários simulados. Esta diferença é especialmente notória no período de retorno de 100 anos (cenário utilizado para o cálculo do índice de perigosidade costeira) onde os dados máximos mensais atingiram um valor de H_s inferior a 10m. Pelo contrário, os dados dos máximos anuais ultrapassam os 10m de H_s a partir do período de retorno de 25 anos, fornecendo valores significativamente superiores. Para o período de retorno de 100 anos, através do método dos máximos anuais, é obtido um valor de 12,9m. Através do gráfico apresentado na figura 22, é possível verificar que o ajuste do modelo

estatístico aos dados reais é semelhante entre os gráficos 22b e 22c. No entanto, o intervalo de confiança é significativamente mais reduzido no método dos dados máximos mensais do inverno marítimo. Apesar de o método dos dados máximos mensais do inverno marítimo apresentar o intervalo de confiança mais reduzido e ser até próximo dos valores apresentados na bibliografia, foi utilizado para a simulação dos temporais o valor obtido segundo o método dos máximos anuais. Esta escolha foi baseada por, na área de referência (boia ondógrafo de Sines), o valor de 10m H_s , segundo a bibliografia, ser ultrapassado com frequência (Reis *et al.*, 2014).

A própria bibliografia (Reis *et al.*, 2014) oferece resultados bastante distintos. A alteração de 11m para 14m e, posteriormente, para 12m não é acompanhada pela explicação do método utilizado para cada um dos cálculos, facto este que poderá suscitar algumas dúvidas. Assim, o método utilizado para as simulações dos temporais extremos foi o dos máximos anuais – dado que se encontra próximo dos valores da bibliografia e apresenta valores dentro do intervalo de confiança de 95%. A utilização deste método reduz a base de dados apenas para os eventos mais extremos, o que reduz por sua vez a base de dados aos eventos excepcionais. Não obstante, a utilização de uma base de dados extensa (fornecida pelo projeto *micore* (Dodet *et al.*, 2010) permite a existência de valores suficientes para o estudo ser fidedigno.

Em termos de análise dos períodos de retorno de H_s pode concluir-se que os resultados são dependentes da série de dados utilizada e dos métodos com os quais estes dados são tratados. Estas alterações podem fornecer significativas variações na previsão da H_s .

Dado o estabelecimento do método dos máximos anuais para o período de retorno da altura significativa da onda, foi utilizado o mesmo método para o estudo do período médio. Este foi um importante passo para o fornecimento das condições iniciais para os temporais excepcionais a simular.

O período de retorno do período médio foi também analisado para o período de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, obtendo-se resultados de 13,5; 14,5; 15,5; 16,2 e 16,8 segundos respetivamente, com um intervalo de confiança de 95%. O resultado desta análise encontra-se apresentado na figura 23.

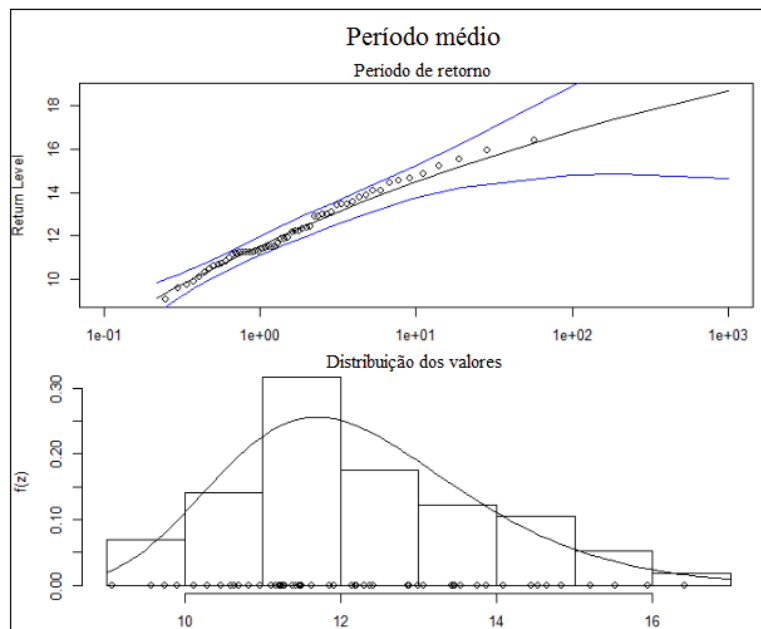


Figura 23 – Período de retorno e distribuição dos valores do período médio utilizando o método dos máximos anuais.

5.2 – Distribuição espacial das características hidrodinâmicas dos temporais

A análise da distribuição espacial da H_s associada a valores extremos permite identificar e prever setores da linha de costa na área de estudo que serão fortemente afetados pela agitação marítima. Assim, a simulação dos temporais extremos, baseada na metodologia já exposta no ponto 4.4 – Modelação hidrodinâmica de temporais, levará à análise das áreas que sofrem a ação da ondulação mais energética sobre a linha de costa e, consequentemente, à definição das áreas favoráveis à concentração de energia das ondas de temporais extremos.

Como já se referiu no ponto 4.6 – Indicadores de perigosidade associado a temporais, no capítulo metodológico, a ondulação corresponde a uma das doze variáveis utilizadas para a determinação do índice de perigosidade costeira. No entanto, porque é o único fator desencadeante e sem este não existem consequências no litoral estudado, é-lhe oferecida maior atenção.

Previamente à descrição dos temporais modelados e da avaliação da distribuição espacial da sua incidência na área de estudo, apresentam-se os dados de validação do modelo de geração de agitação marítima. Tal como referido anteriormente, o processo de modelação de agitação marítima foi realizado através do modelo WW3, utilizado em áreas onde a ondulação não é afetada pelo fundo, e do modelo SWAN, que incorpora todos os

processos importantes para a alteração das ondas devido às condições batimétricas. Por este motivo, apenas são apresentados os dados do *SWAN*. O processo de validação iniciou-se com a comparação entre os dados de agitação marítima medidos, da boia da Administração do Porto de Lisboa, e os obtidos no mesmo ponto pelo modelo *SWAN*, entre as 00h do dia 1 de abril de 2009 e as 24h do dia 30 de abril de 2009. Na figura 24 apresentam-se os dados de validação gráfica e a estatística das variáveis H_s , direção e período das ondas.

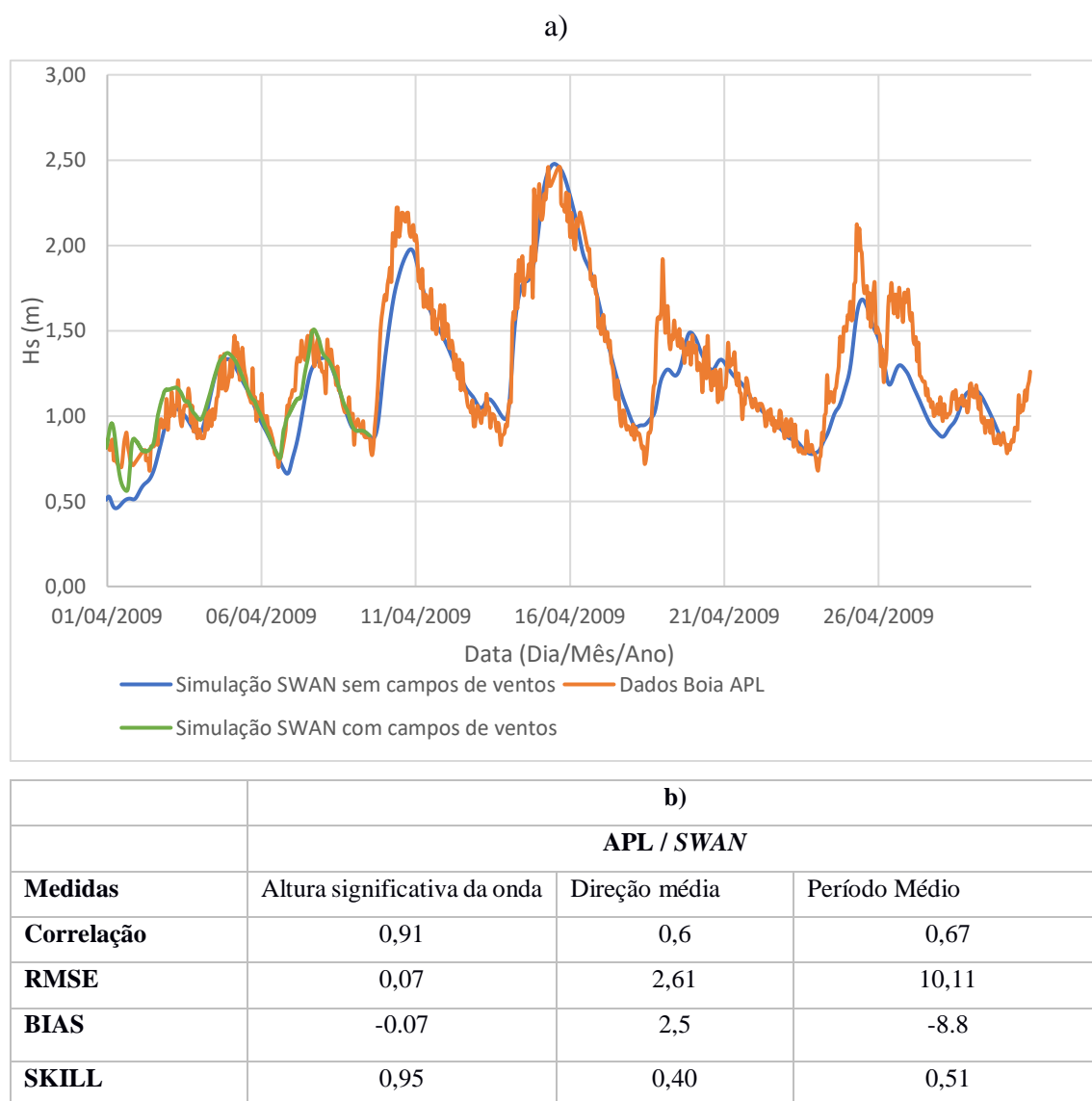


Figura 24 - Gráfico de validação da modelação da H_s do modelo *SWAN* e da boia da APL - Administração do Porto de Lisboa (a) e os resultados da análise estatística para os parâmetros da H_s , direção média e período médio (b).

Observando o gráfico, pode desde logo verificar-se que o modelo *SWAN* acompanha os picos de ondulação dos dados de ondas da boia da APL. O máximo de H_s , atingido no dia 15, é simulado na perfeição, enquanto a primeira subida significativa, que ocorre no dia 11, segue a mesma tendência, mas não atinge o seu valor extremo. No entanto, deverá referir-se que nem todos os picos de ondulação são acompanhados até ao seu máximo, sendo que este fenómeno é bastante claro nas subidas de ondulação que ocorrem nos dias 19, 25 e 26, datas nas quais se verificam as maiores imprecisões do modelo. A falta de precisão pontual que se pode observar deve-se à falta de determinação e inclusão no modelo do parâmetro do campo de vento após o dia 10 de abril (fig. 24a). Na figura 24a observa-se os resultados do modelo *SWAN* com a correta configuração do parâmetro campos de ventos até ao dia 10 (Dados *SWAN* - Ventos). Neste setor da figura pode observar-se uma maior correspondência entre os valores medidos e os modelados, nomeadamente no que se refere aos picos de ondulação e relativamente ao restante período de análise. No caso do pico de 11/4 (fig. 24a), na simulação *SWAN* sem campos de ventos, esta diferença não ultrapassa os 20cm. Na mesma figura, podem observar-se as diferenças nos picos de ondulação de 15/4, 19/4 e 25/4 que não ultrapassam os 1cm, 50cm e 30cm, respetivamente. Assim, pode ser argumentado que a ligeira falta de correspondência nos picos de ondulação entre os dados registados na boia da APL e os dados modelados pelo *SWAN* sem a parametrização dos campos de ventos é provocada por agitação marítima local, gerada pelos ventos locais. A introdução deste parâmetro na modelação poderia resultar numa melhoria na qualidade do modelo, mas este não foi incluído, uma vez que: (i) o tempo de processamento era elevado para o tempo de realização deste trabalho e, principalmente, porque (ii) na simulação dos temporais excecionais não é possível incorporar os campos de ventos, por serem situações hipotéticas e não ser possível representar a intensidade do vento destes episódios.

A análise estatística dos valores do parâmetro da altura significativa da onda (fig. 24b) podem considerar-se satisfatórios. Obteve-se um valor de correlação APL/*SWAN* de 0,91 e um valor *SKILL* (teste de eficácia do modelo) de 0,95. O erro quadrático médio e o *BIAS* obtiveram valores bastante baixos com tendência a subavaliar os valores reais, o que é um aspeto positivo, mostrando a proximidade entre a distribuição de valores APL e *SWAN* e confirmando os resultados da correlação e do valor *SKILL*. Os parâmetros estatísticos referentes à direção média e ao período médio (fig. 24b) não apresentaram valores satisfatórios, pelo que estes parâmetros não foram introduzidos no Índice de Perigosidade Costeira.

Assim, considerou-se que o modelo de agitação marítima se encontrava operacional e apto para a simulação correta da H_s para temporais excepcionais.

Realizou-se uma simulação dos resultados dos períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, utilizando para o efeito as condições do modelo estacionário já anteriormente descritas no ponto 4.4 d) Parametrização do *WaveWatch III* e *SWAN*.

As condições de fronteira utilizadas para a simulação dos temporais encontram-se apresentadas no quadro 12, sendo as variações da altura significativa da onda e do período médio representativas da análise dos períodos de retorno, enquanto a proveniência do temporal foi assumida sempre como de NO, dado ser esta a proveniência mais frequente dos temporais (Sousa, 2015).

Quadro 12 – Condições de fronteira utilizadas para a simulação dos temporais excepcionais no modelo *SWAN* estacionário.

Período de retorno	Altura significativa da onda (m)	Período da onda (s)	Direção (°)
5 anos	8,5	13,54	315
10 anos	9,4	14,5	315
25 anos	10,7	15,5	315
50 anos	11,8	16,2	315
100 anos	13	16,8	315

A figura 25 representa o resultado das referidas simulações para a área de estudo.

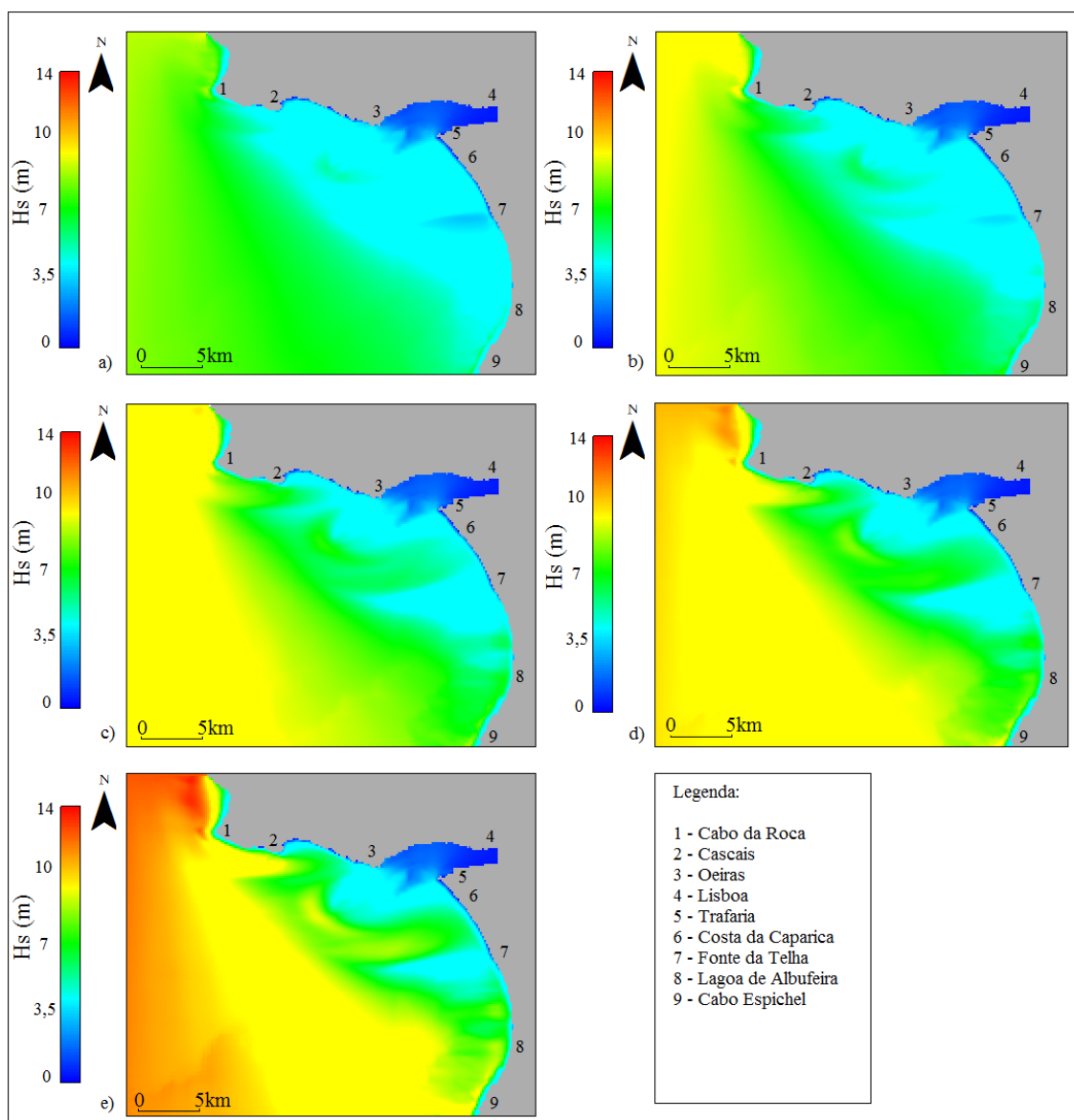


Figura 25 – Representação da repartição espacial da H_s (m) simulada para os períodos de retorno de 5 (a), 10 (b), 25 (c), 50 (d) e 100 (e) anos utilizando o modelo *SWAN* sobre uma malha de 200m de resolução espacial.

Ao analisar as imagens anteriores deverá ter-se em atenção que a escala de representação do espectro de ondas foi fixada num máximo de H_s de 14m, valor ligeiramente superior ao máximo atingido pela H_s com período de retorno de 100 anos.

Analisando os mapas apresentados, poderá ser verificada uma evolução da altura significativa da onda com o aumento do período de retorno. Assim, os mapas refletem as seguintes características:

- i) Período de retorno de 5 anos (fig. 25a) – A ondulação atinge um máximo na área do Cabo da Roca, com cerca de 9m de H_s . Este valor encontra-se

muito próximo do valor de H_s admitido como representativo de uma onda com 5 anos de período de retorno. O mesmo pode ser observado para a modelação dos restantes períodos de retorno no mesmo setor litoral. Tal indica a elevada exposição à ondulação extrema deste setor litoral e que a aproximação de ondas extremas à linha de costa resulta numa muito reduzida modificação dos parâmetros de largo. Os valores mínimos verificam-se junto do estuário do rio Tejo, na linha de costa entre a baía de Cascais e o estuário, e na linha de costa entre a Trafaria e Fonte da Telha.

- ii) Período de retorno de 10 anos (fig. 25b) – É notório que a H_s sofre um acréscimo, dado que as condições de fronteira introduzidas foram superiores às anteriores. A H_s atingiu os seus máximos com 9m ao longo de toda a fronteira oeste e próximo da linha de costa entre o Cabo Raso e o Cabo da Roca. A ondulação ultrapassa os 7m na maior parte da área, intensificando-se a sul da Lagoa de Albufeira e na área envolvente do banco sedimentar do estuário do Tejo.
- iii) Período de retorno de 25 anos (fig. 25c) – A H_s ultrapassa os 10m na área envolvente do Cabo da Roca. Verifica-se o aumento da área afetada por ondulação na ordem dos 9m, essencialmente ao largo da costa, e um aumento da ondulação superior a 7m nas áreas de Cascais e no sul da península de Setúbal.
- iv) Período de retorno de 50 anos (fig. 25d) – A ondulação alcança o máximo próximo dos 12m da H_s na área envolvente do Cabo Raso. Também se verifica que a ondulação nas áreas entre o Cabo Raso e Cascais ultrapassa os 9m, tal como no setor a sul da Lagoa de Albufeira. Nesta figura, torna-se claro que o sector costeiro entre a Costa da Caparica e o setor norte da Lagoa de Albufeira sofre uma redução de H_s , sendo registados valores entre 3,5m e 5m. Na área da Costa da Caparica são registados valores na ordem dos 7m, ao passo que na Trafaria este valor é minimizado.
- v) Período de retorno de 100 anos (fig. 25e) – O máximo de H_s é atingido na área exposta a oeste, entre o Cabo Raso e o Cabo da Roca. A ondulação propaga-se até Cascais com um valor na ordem dos 9m ao largo da costa e 8m na faixa mais próxima da linha de costa. A baía de Cascais, por se encontrar abrigada, sofre o impacto de ondulação de 3,5 a 5m de H_s . No

entanto, a faixa costeira entre Cascais e Oeiras, que se encontra com uma orientação da costa de NE-SO, é atingida por ondas de 7m de H_s . O banco sedimentar presente no estuário do Tejo leva a uma distribuição da H_s em forma de circunferência, não se propagando para o interior do estuário ou para as áreas costeiras envolventes do mesmo, havendo um H_s próximo dos 5m. Na península de Setúbal verifica-se que a área mais a norte (Trafaria) tem uma ondulação de 4m, existindo, no entanto, uma canalização da ondulação para a área da Costa da Caparica, que atinge valores superiores a 7m ao largo da costa. Esta ondulação é mais reduzida com o aproximar à costa, mantendo-se reduzida a sul da Costa da Caparica. A sul da Fonte da Telha estes valores voltam a aumentar, alcançando os 9m de H_s na maior parte da área, mas também um máximo de 10m no extremo sul.

Dadas as condições de fronteira, a ondulação tende a diminuir de H_s , alcançando valores inferiores com o seu progresso e atingindo os valores mínimos ao incidir sobre a costa. Tal como seria de esperar, com o aumento do período de retorno verifica-se um proporcional crescimento de H_s . Apesar deste crescimento, constata-se o seguimento de um padrão que leva à incidência da ondulação sobre determinados sectores da costa, que vão sendo afetados com maior energia da onda com o aumento do período de retorno.

De uma forma geral, o litoral do Cabo Raso (exposto a oeste) é o primeiro a ser atingido e o que sofre a incidência da ondulação mais energética. Em todos os mapas, esta é a área que revela a ondulação com a maior altura significativa da onda. A partir do mapa b) observam-se valores que ultrapassam os 9m de H_s nas áreas costeiras. A linha de costa junto ao Cabo Espichel também é fortemente afetada pela ondulação que, após a difração que ocorre no Cabo Raso, é orientada até ao extremo sul da península de Setúbal, verificando-se uma forte incidência da ondulação com elevada energia nesta área. A propagação da ondulação até Cascais é feita com bastante energia, no entanto, a baía de Cascais, mesmo no pior cenário, encontra-se protegida das ondas com H_s mais elevada.

A área envolvente do estuário do Tejo é a que se encontra mais protegida. Esta encontra-se abrigada da ondulação predominante, não sofrendo o impacto direto da ondulação devido à presença do banco sedimentar que impede a propagação da ondulação com a mesma energia. Pode verificar-se que os processos de difração e refração que ocorrem na interação da ondulação com este banco permitem que a área da Trafaria se

encontre numa faixa de ondulação menos intensa, ao mesmo tempo que ocorre um acréscimo de energia a sul desta localidade, afetando a Costa da Caparica.

Na área envolvente da Fonte da Telha foi identificado um setor de ondulação menos energética (fig. 25). Esta diminuição de H_s poderá estar associada aos processos físicos de refração que se desenvolvem na área do banco sedimentar do Tejo e que afetam a hidrodinâmica das áreas envolventes. Esta influência pode ser evidenciada essencialmente a partir dos períodos de retorno dos 25 aos 100 anos (figs. 25c; 25d e 25e).

5.3 - Inventariação de eventos e danos dos temporais com registo de notícias

Tal como verificado anteriormente, em Portugal, os temporais são um fenómeno frequente capaz de criar estragos significativos, com grandes prejuízos económicos e até capaz de pôr em perigo a segurança e a vida da população.

A criação de uma base de dados que inventaria eventos e danos no litoral da área de estudo deve incorporar todas as ocorrências de desastres naturais associados a temporais marítimos, proporcionando à população o conhecimento dos eventos mais perigosos e das atitudes que deverão tomar em relação aos mesmos. Após a construção de uma base de dados completa e correta, poderão ser retiradas diversas conclusões: i) o género e número de desastres naturais que ocorrem numa região; ii) a sua localização espacial; iii) o número de mortos, desalojados ou afetados; iv) posição relativa de uma unidade territorial em termos de um *ranking* nacional; v) padrões temporais dos desastres e os danos sociais que envolvem (Zêzere *et al.*, 2014). Assim, partindo da análise das características fornecidas pelos dados é possível retirar conclusões importantes para o ordenamento do território e a proteção da população.

A construção e preenchimento da base de dados de eventos e danos e o estudo das ocorrências associadas a temporais marítimos no arco litoral entre Cascais e Cabo Espichel possibilitou alcançar várias conclusões. Foram encontradas no total 67 ocorrências no período temporal entre 2000 e 2015, associadas a 42 eventos de temporais distintos. Segundo Sousa (2015), entre 2000 e 2009 foram identificadas 72 temporais a partir de dados modelados de ondas em Sines, um valor significativamente superior ao registado segundo a base de dados. No entanto, é de se notar que o período temporal analisado é diferente e que nem todos os temporais conduzem a danos graves, com interesse jornalístico.

Ao analisar a figura 26, verifica-se que as ocorrências registadas não se encontram dispersas pelo território de uma forma homogénea, sendo que 45 das ocorrências incidem sobre a península de Setúbal e das quais 41 ocorrências se encontram concentradas no litoral da Costa da Caparica. São apenas 3 as ocorrências que se verificam em Sesimbra e todas elas estão relacionadas com indivíduos arrastados pelo mar em atividades de lazer, pesca ou naufrágio de barcos. A península de Lisboa possui 22 ocorrências entre os anos de 2000 e 2015, sendo o litoral entre Cascais e o Estoril o mais afetado. Oeiras, apesar de se encontrar numa área descrita, anteriormente, como pouco propensa a incidência de ondulação com H_s elevado, é afetada por 7 ocorrências provocadas por temporais. Estas ocorrências representam registos de inundações de estradas, afetando também, por vezes, veículos. No litoral de Carcavelos e da Parede registaram-se 3 ocorrências.

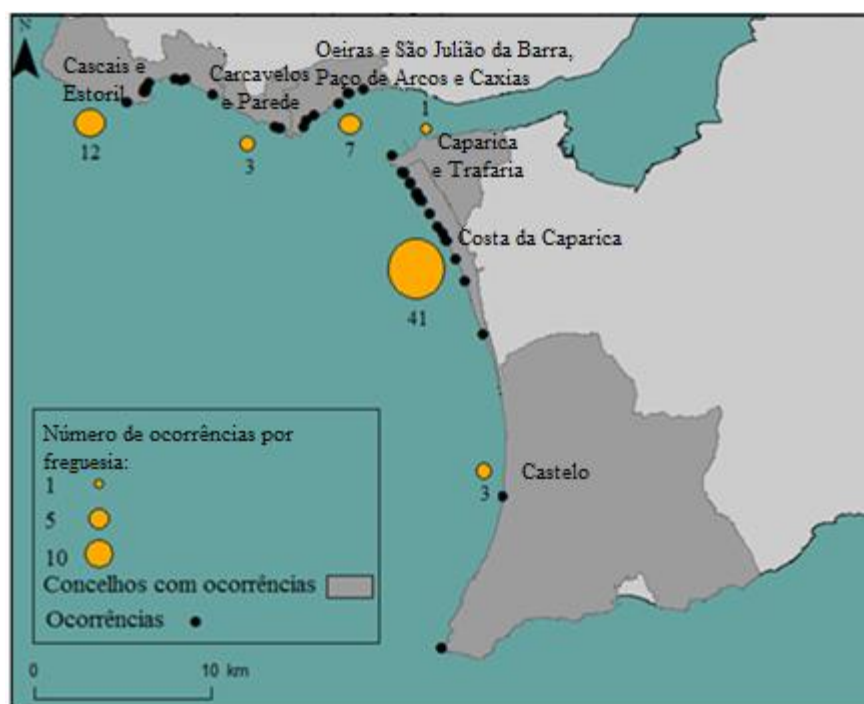


Figura 26 – Distribuição espacial das ocorrências provocadas por temporais no período entre 2015 e 2000 por concelho.

Da análise pode deduzir-se que as ocorrências estão distribuídas fundamentalmente por áreas fortemente urbanizadas com litorais arenosos, sendo que, nestas ocorre a maior parte dos eventos mais danosos. É habitual a presença de esporões e de outras obras de proteção costeira nas áreas onde a ocorrência de danos é frequente, havendo registos de infraestruturas danificadas. Este facto poderá ser um indicador de que nestas áreas a incidência de temporais tem sido recorrente, ameaçando a população. A concentração de ocorrências poderá acrescentar algumas dúvidas em relação à extensão

do efeito dos temporais na linha de costa, mas estas associam-se essencialmente à falta de informação/relatos em setores menos densamente povoados.

Este facto pode ser observado se tivermos em conta que, como já foi referido no ponto 3.3 – Hidrodinâmica Marinha, e na caracterização dos períodos de retorno, no ponto 5.1 – Períodos de retorno associados aos temporais, a ondulação de maior magnitude ocorre no extremo sul da península de Setúbal e na área envolvente do Cabo Raso, áreas cuja densidade de ocupação do solo por atividades humanas passíveis de ser afetadas por um temporal é muito reduzida. Assim, pode concluir-se que a inventariação de eventos e ocorrências é essencial para a determinação das principais consequências dos temporais, mas não é, no entanto, correlacionável apenas com a variável ‘dados da ondulação’, existindo claramente outras variáveis importantes para a determinação das áreas mais afetadas.

Os temporais podem levar a um vasto leque de consequências. Neste trabalho estas consequências foram agrupadas segundo a sua tipologia, tendo sido obtidos os seguintes *clusters* de tipologias afetadas (fig. 27): 1) Destruição de infraestruturas e objetos – Este grupo é o mais frequente, identificando todas as ocorrências em paredões, apoios de praia, infraestruturas de acesso, carros, naufrágios de barcos ou materiais de pesca destruídos ou danificados devido a eventos de temporais; 2) O segundo maior grupo é o das inundações costeiras – Este identifica as ocorrências de inundações de casas, restaurantes, estradas e parques de estacionamento inundados no decorrer galgamentos costeiros; 3) O terceiro *cluster* é representativo da população afetada e este, apesar de não conter um grande número de ocorrências, afeta um elevado número de pessoas. Para além disso, este grupo poderá ser considerado o mais significativo, relativamente à gravidade das suas ocorrências, dado que regista as ocorrências de mortes, de pessoas desalojadas ou feridas em caso de temporais; 4) A erosão costeira é representativa de uma grande parte das ocorrências totais, o que permite o recuo da costa e a exposição das infraestruturas à direta incidência da ondulação, levando a grandes prejuízos. Também é frequente o relato da rotura dos cordões dunares, o que origina as inundações costeiras referidas anteriormente.

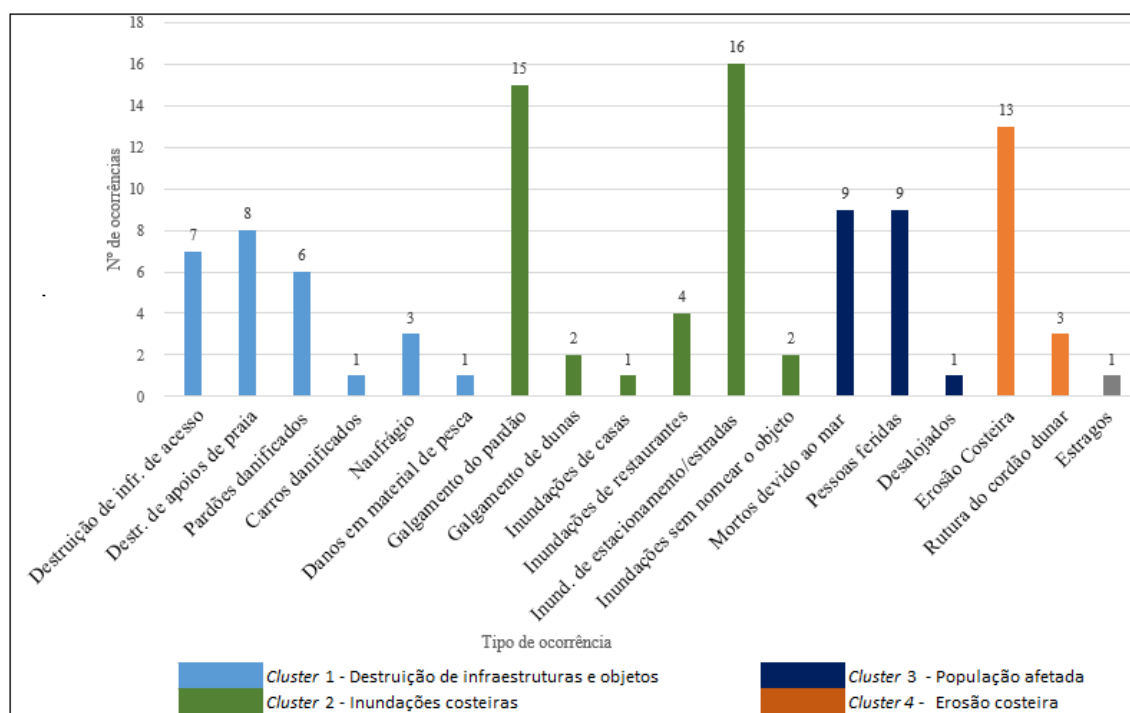


Figura 27 – Gráfico ilustrativo do número de cada tipologia de ocorrência registrada.

Diversas vezes foram identificados registos sobre os danos financeiros de determinadas ocorrências, sendo possível contabilizar valores de milhares de euros. Exemplificando, poderá ser referido o evento de 23 de fevereiro de 2007, onde o galgamento e destruição de paredões da Costa da Caparica provocou prejuízos de cerca de 400 000€. Ou o temporal de 18 de fevereiro de 2014, em Cascais, que levou a prejuízos de cerca de 700 000€, devido aos danos no paredão e nas infraestruturas de acesso, segundo os jornais do Diário de Notícias das respetivas datas. Também é importante referir que o evento que ocorreu entre 1 e 3 de janeiro de 2007 propiciou um episódio de erosão costeira com um recuo de aproximadamente 10m, no entanto a ondulação referida pela notícia apresentava valores na ordem dos 3,5m, não alcançando o limiar de 5m identificado pela bibliografia como temporal.

O tipo de ocorrência que os noticiários mais registaram foi a inundação de estradas, parques de estacionamento, restaurantes e casas, totalizando 25 ocorrências deste tipo (fig. 27), mas também foram identificadas 23 ocorrências de galgamentos ou destruição de paredões e 13 ocorrências de erosão costeira. Devido à forte ondulação também foi identificado um número total de 6 desalojados, causado por inundação de habitações; 16 feridos e 22 mortos. Destas mortes, 9 foram provocadas diretamente pela ação das ondas em praias, havendo pessoas arrastadas pela forte ondulação ou por correntes de agueiro. O número de mortos sofreu um acréscimo devido a ocorrências

ligadas à atividade de pesca, tanto através de embarcações que poderiam ter saído em períodos de agitação marítima elevada, levando ao naufrágio dos barcos e ao desaparecimento dos pescadores, como em arribas onde os pescadores foram arrastados pela intensa ondulação.

Segundo a base de dados criada neste trabalho, o maior número de ocorrências devido a temporais ocorreu no ano de 2014 (fig. 28a), com 17 casos danosos, incluindo, entre outros temporais de elevada magnitude, a tempestade Hércules que foi responsável por um grande número de danos ao longo da costa nacional. Os anos de 2007 e 2008 também foram anos com significativo número de ocorrências, alcançando 10 registos cada (fig. 28a). Ao analisar a escala mensalmente, pode ser observado que o mês de fevereiro é o que apresenta o maior número de ocorrências, totalizando 19 (fig. 28b). Também no mês de janeiro é possível identificar um significativo número de ocorrências, tendo sido contabilizadas 14 e, por fim, os meses de março e abril com um total de 12 ocorrências cada. As 12 ocorrências identificadas no mês de abril (fig. 28b) estão relacionadas com apenas 5 eventos e estes 5 eventos são responsáveis por um total de 13 feridos. Assim, deverá ter-se em atenção que este número não está apenas ligado à intensa ondulação, mas também à presença de um maior número de pessoas nas praias, o que eleva a probabilidade de acontecimentos que afetem diretamente a população.

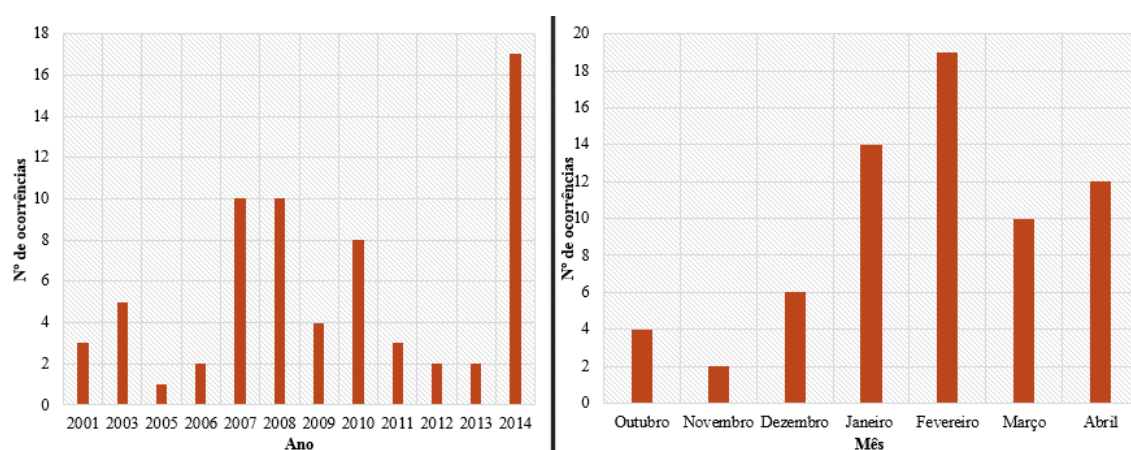


Figura 28 – Identificação do número de temporais por ano (a) e por mês (b).

A revisão dos jornais e a formação de uma base de dados relativa às ocorrências provocadas por temporais é essencial para a identificação das principais consequências, das principais áreas de incidência, dos períodos mais frequentes e mesmo dos valores monetários dispendidos com a recuperação dos objetos. A consciencialização da população para o evento perigoso ao qual está exposta é essencial para o desenvolvimento

de uma maior resiliência por parte da mesma e a sua conformidade com o ambiente no qual habita. Mas, a criação desta base de dados também envolve vários problemas e limitações. Para a identificação de ocorrências apenas foi utilizado o «Diário de Notícias» e a utilização de um maior número de jornais poderia levar à identificação de um maior número de eventos danosos. Também se verifica a necessidade de utilizar outros métodos que permitissem o estudo do impacto de temporais, pois o estudo dos noticiários reflete maioritariamente as áreas com ocupação humana. A análise de variações da linha de costa através de imagens aéreas do *google* com diferentes datas permitiria identificar alterações associáveis aos temporais marítimos, sendo assim possível a inventariação das ocorrências que não se encontram em áreas urbanizadas, melhorando significativamente a base de dados. O acesso ao arquivo de seguros pagos devido a consequências provocadas por temporais permitiria também aumentar a base de dados, georreferenciar o ponto exato das ocorrências, assim como identificar valores corretos do prejuízo estimado, sendo esta a principal fonte para a identificação do valor monetário perdido. A possibilidade de consulta da base de dados da proteção civil também iria permitir o aumento de base de dados criada e conforme os critérios utilizados por esta entidade, seria possível a introdução de novos critérios.

Dada a inexistência de uma base de dados referente aos temporais a nível nacional, é impossível comparar esta região com danos provocados noutras áreas nacionais. No entanto, seria importante o desenvolvimento desta base de dados, uma vez que permitiria o estudo do fenómeno com maior rigor. A estruturação de uma base de dados georreferenciada também permite a validação de mapas que estudem a exposição da costa ao fenómeno, tal como servirá neste relatório.

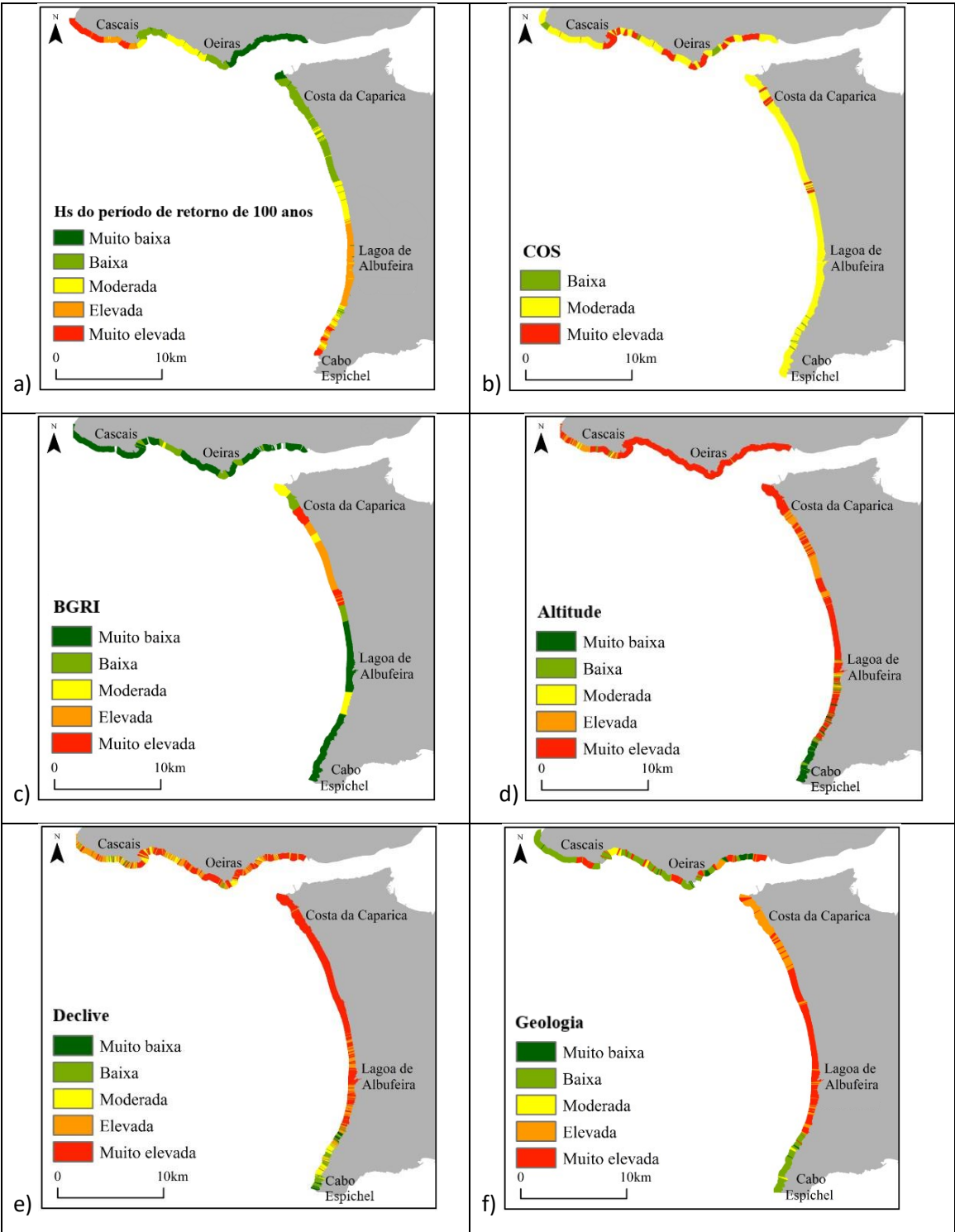
O Anexo I contém a base de dados criada, com todas as características analisadas.

5.4 - Determinação da perigosidade associada aos temporais

5.4.1 - Favorabilidade do litoral à incidência de temporais marítimos

O conceito de perigosidade utilizado encontra-se definido segundo o quadro 2 do ponto 1.2 – Perigos costeiros e os temporais. Antes de se passar à análise da classificação espacial de perigosidade associada a temporais marítimos na área de estudo, é necessário analisar a distribuição espacial de todos os fatores analisados no estudo da perigosidade, segundo o estabelecido no ponto 4.6 – Indicadores de perigosidade associados a

temporais. Assim, a distribuição espacial do fator determinante e dos restantes fatores condicionantes encontra-se apresentada na figura 29.



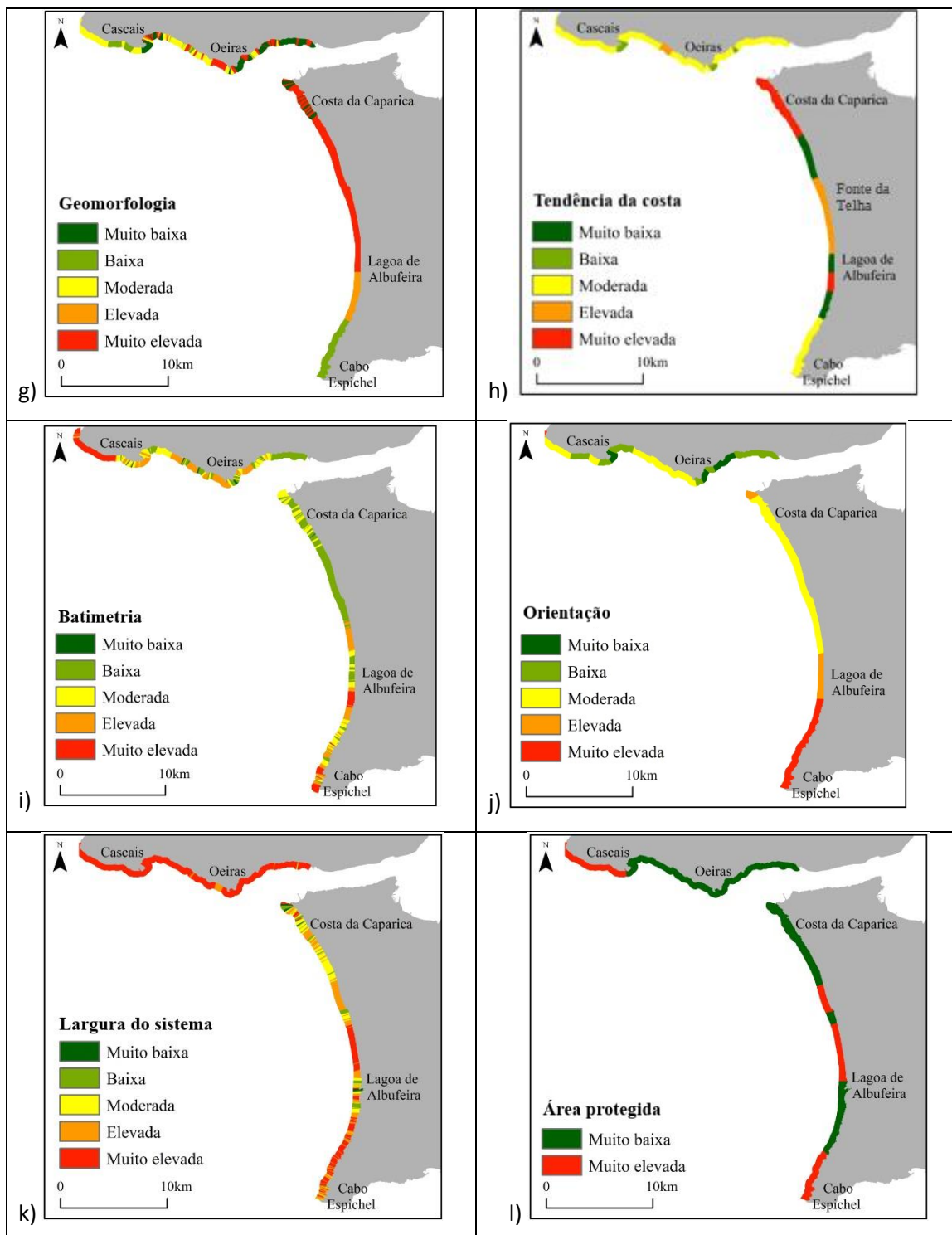


Figura 29 – Classificação espacial da favorabilidade às consequências de temporais para o cálculo do índice de perigosidade costeira.

Segundo a figura 29 pode constatar-se que existe uma grande variação espacial em termos de fatores de favorabilidade à ocorrência de consequências associadas a temporais. Assim:

- a) H_s do período de retorno de 100 anos (fig. 29a) – Esta variável representa a probabilidade de ocorrência de um temporal com um período de retorno de 100 anos e a sua distribuição ao longo do litoral. Trata-se do único fator desencadeante e a sua análise incide sobre os 500m mais próximos da costa, de forma a abranger a linha de fecho e a zona de rebentação da ondulação. Esta variável segue as tendências descritas no ponto 5.2 – Distribuição espacial das características hidrodinâmicas dos temporais, sendo utilizado como referência o temporal com período de retorno de 100 anos. Resumindo a informação detalhada no mesmo ponto, o valor de referência para as condições de fronteira do modelo SWAN foi de 12,9m e os valores máximos desta variável podem ser verificados no litoral entre o Cabo Raso e Cascais e no Cabo Espichel. Com a aproximação ao estuário do Tejo observa-se um decréscimo no valor da H_s , e exatamente na envoltória deste sistema são encontrados os valores mínimos. Como já foi descrito no ponto 4.5 – Indicador de perigosidade associado a temporais, esta é a variável que tem o maior valor de ponderação 25,6% pois é o fator desencadeante do fenómeno extremo.
- b) COS (fig. 29b) – Encontra-se associada à representação da ocupação do solo por tipologias. No litoral da área de estudo, as áreas ocupadas por vegetação de florestas, estratos arbustivos e herbáceos, classificadas como favorabilidade baixa, encontram-se essencialmente ao longo da península de Setúbal, fora dos perímetros urbanizados da Costa da Caparica, com presença de estruturas pesadas de proteção costeira, e da Fonte da Telha (favorabilidade muito elevada). A península de Lisboa encontra-se mais densamente urbanizada, sendo frequente a presença de áreas com favorabilidade muito elevada.
- c) BGRI (fig. 29c) – A distribuição espacial desta variável reflete a presença ou ausência de edifícios no perímetro dos sistemas litorais identificados na figura 2 e englobados pelos sistemas definidos inicialmente. Assim, a probabilidade de sistemas de litoral rochoso, por norma menos extensos para o interior, possuírem menos densidade de edificado é real, porque a sua largura é inferior à registada em sistemas arenosos. Devido a este fator, e ao contrário do que seria de esperar, a linha de costa da península de Lisboa não se encontra classificada com a classe mais elevada de favorabilidade, apesar da conhecida a elevada densidade de

ocupação por edifícios nesta área. Também não será menos verdade que se trata de um litoral onde se verifica uma clara separação pelas vias rodó e ferroviárias entre o sistema litoral e o edificado. Por oposição, o litoral da Costa da Caparica e da Fonte da Telha apresenta um grande número de edifícios sobre a duna cinzenta, pelo que estas são as áreas onde o índice é máximo.

- d) Altitude (fig. 29d) – Influencia diretamente a progressão da ondulação em direção ao interior, condicionando a extensão e duração da inundação. A área de estudo é geralmente caracterizada por baixas altitudes devido aos sistemas de praia-duna, predominante na península de Setúbal e a sistemas rochosos baixos, existentes na península de Lisboa, implicando a classificação de elevada a muito elevada favorabilidade. Os sistemas de arribas com elevadas altitudes encontram-se presentes no sul da área de estudo, sendo esta classificada como baixa favorabilidade.
- e) Declive (fig. 29e) – É uma variável importante, não apenas porque influencia diretamente a progressão das ondas até à linha de costa, mas também porque condiciona as áreas mais densamente ocupadas pelo homem (Nageswara *et al.*, 2008). As áreas de baixo declive e presença humana são mais propícias à instalação de edifícios. Tal como verificado com a altitude, grande parte da área de estudo encontra-se caracterizada com elevada a muito elevada favorabilidade. A península de Lisboa apresenta maior variabilidade entre o Cabo Raso e Cascais., enquanto a península de Setúbal obtém os valores mais baixos no Sul, por oposição à restante área que tem elevada a muito elevada favorabilidade associada a consequências da ocorrência do evento extremo.
- f) Geologia (fig. 29f) e g) Geomorfologia (fig. 29g) - A geologia é uma variável importante para a dissipação da energia da onda e progressão da erosão (Thieler e Hammar-Klose, 1999). Assim, materiais não consolidados favorecem a evolução do *run-up* e da erosão costeira mais do que materiais consolidados e rochosos. Neste trabalho, as duas variáveis (Geologia e Geomorfologia) estão fortemente correlacionadas, pois o tipo de sistema costeiro está regularmente associado ao mesmo tipo de consolidação dos materiais – os materiais

consolidados estão associados a sistemas de litoral rochoso, enquanto materiais não consolidados estão representados por sistemas de praia-duna. Como os sistemas praia-duna ocorrem ao longo da península de Setúbal, toda esta área é definida com elevada ou muito elevada favorabilidade. O setor de arribas, no sul da área, apresenta, pelo contrário, condições de baixa favorabilidade. Devido à presença de litorais rochosos associados ou não a sub-sistemas litorais de praia, a península de Lisboa caracteriza-se por uma distribuição espacial de classes de favorabilidade mais diversificada.

- h) Tendência da costa (fig. 29h) – A erosão costeira sistemática pode ser o resultado do impacto de temporais marítimos sobre a costa durante longos períodos de tempo. As áreas que se encontram em erosão também serão mais facilmente afetadas por temporais em caso de ocorrência deste evento, permitindo a inundação de áreas mais extensas. A península de Lisboa caracteriza-se por classes médias de favorabilidade, enquanto a península de Setúbal exhibe dois setores com elevadas taxas de recuo da linha de costa (Sousa, 2015) e classificadas com elevada a muito elevada favorabilidade (no setor a norte, na Costa da Caparica, onde existem várias estruturas pesadas de proteção costeira, e a sul da Lagoa de Albufeira, no Vale Grande). Todo o setor entre a Fonte da Telha e o norte da Lagoa de Albufeira também se encontra classificado como de elevada favorabilidade.
- i) Batimetria (fig. 29i) – A maior profundidade da costa permite a propagação de ondas mais energéticas para a proximidade da costa e, assim, um maior impacto dos temporais. Segundo a distribuição espacial desta variável, pode ser referido que o setor entre o Cabo Raso e Cascais é o que apresenta maior profundidade, encontrando-se classificado como muito elevada favorabilidade. Também diversas parcelas no sul da península de Setúbal e da Lagoa de Albufeira apresentam elevados valores. No geral, a península de Lisboa apresenta valores mais elevados de favorabilidade.
- j) Orientação (fig. 29j) – Dado que os temporais mais frequentes são provenientes de NO, as áreas mais afetadas são aquelas que se encontram com orientação entre os octantes NO e SO, neste caso, o setor costeiro entre a Lagoa de Albufeira e o Cabo

Espichel. Pelo contrário, as áreas mais abrigadas são as que se encontram na península de Lisboa com uma orientação de SO-NE.

- k) Largura do sistema (fig. 29k) – Esta variável pode ser importante, uma vez que os sistemas mais largos podem funcionar como *buffer* relativamente à ação dos temporais. A península de Lisboa encontra-se classificada com elevada a muito elevada favorabilidade, dado que os seus sistemas litorais são predominantemente rochosos, definidos entre a base e o topo da arriba, consequentemente, menos largos. O mesmo acontece no sul da península de Setúbal. Os sistemas mais largos estão presentes no norte da península de Setúbal, onde dominam sistemas de praia-duna, sendo classificados como moderada a muito baixa favorabilidade.
- l) Áreas protegidas (fig. 29l) – Esta variável foi analisada de forma a incorporar as formas geológicas/geomorfológicas e a biodiversidade, que poderá ser afetada por temporais. Podem apenas ser verificadas duas classes que diferem pela presença de áreas protegidas. Em ambas as penínsulas podem ser verificadas áreas protegidas, entre o Cabo Raso e Cascais na península de Lisboa, e na península de Setúbal o extremo sul da mesma, assim como a área envolvida pela arriba fóssil da Costa da Caparica.

Como se verificou, a diversidade de variáveis permite a classificação dos diferentes fatores desencadeantes e condicionantes das consequências dos temporais na linha de costa da área de estudo. A combinação destas variáveis, ponderadas segundo indicado no ponto 4.6 do capítulo metodológico, permitiu o cálculo do índice de perigosidade, através da equação apresentada no mesmo ponto.

Apesar desta diversidade de fatores envolvidos na avaliação de perigosidade, vários fatores não foram considerados. O regime das marés e a sua altura, o *storm surge* ou o nível médio do mar traduzem-se, na literatura científica, como variáveis com uma distribuição espacial uniforme ao longo da área de estudo e na escala de análise deste trabalho. Assim, estas comportar-se-iam como variáveis espacialmente neutras e sem influência na distribuição espacial e na classificação de perigosidade.

5.4.2 - Índice de perigosidade costeira associada aos temporais

O índice de perigosidade costeira analisa as áreas que são mais e menos favoráveis à incidência de temporais extremos. Encontra-se classificado em quatro classes, desde perigosidade ‘nula’ a perigosidade ‘elevada’, sendo uma importante ferramenta para os gestores do território e preparação da população em caso de evento extremo. No entanto, a utilidade deste mapa não é significativa, caso não se proceda à sua validação. O processo utilizado para a realização da validação do mapa de perigosidade costeira foi explicado detalhadamente no ponto 4.6 – Indicadores de perigosidade associados a temporais, e o resultado deste processo observa-se na figura 30:

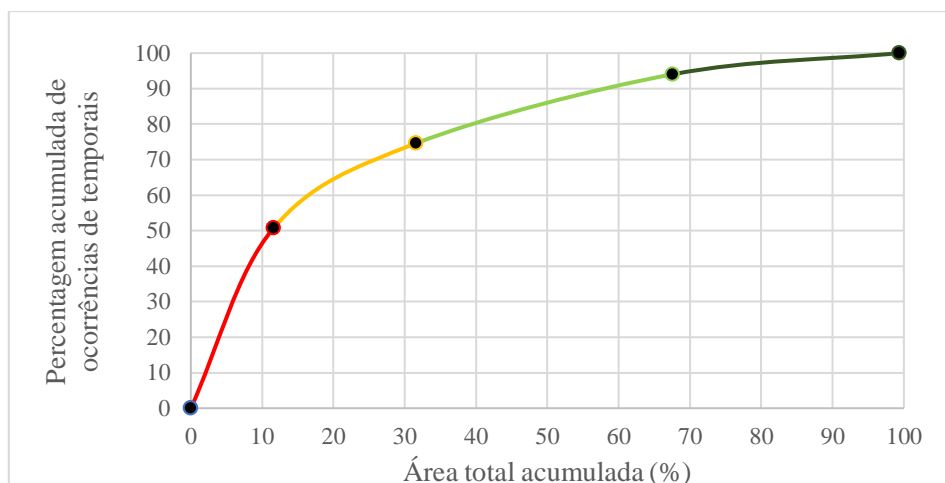


Figura 30 – Curva ROC associada à validação do índice de perigosidade através da comparação de área ocupada por cada classe de perigosidade e a percentagem de ocorrências que se encontram em cada um deles.

Através da comparação das 67 ocorrências registadas, segundo as notícias dos jornais, com as classes de perigosidade obteve-se a validação (fig. 30).

Segundo o gráfico apresentado, a classe de perigosidade elevada encontra-se em 11,6% da área total e, apesar de esta ser a classe com menor representatividade espacial, é nela que ocorrem 50,7% das ocorrências (secção da linha apresentada a vermelho, fig. 30). A classe moderada de perigosidade representa 20% do território analisado e o seu acrescento permite a explicação cumulativa de $\approx 75\%$ das ocorrências. As classes de ‘baixa’ e ‘nula’ perigosidade, que representam 68,4% da área do território, são responsáveis pela explicação de 25% das ocorrências. Assim, devido à presença de grande parte das ocorrências nas classes mais elevadas do índice de perigosidade (que ocupam a

área minoritária do território) o mapa foi considerado válido e a sua precisão foi considerada correta.

Salienta-se que a base de dados das ocorrências provocadas por temporais não foi considerada no cálculo do índice de perigosidade, atuando apenas como variável independente indispensável para o método de validação.

Apesar da elevada percentagem de validação, este método pode ser ainda melhorado em abordagens futuras. A análise de notícias de jornais apenas permite a identificação de ocorrências em cidades que tenham influência no meio social ou económico. Por este motivo, é essencial a utilização de outros métodos de identificação de ocorrências de temporais, como a análise de imagens de *Google* de diferentes períodos temporais, a consulta da base de dados da proteção civil ou registos de seguradoras, tal como discutido no capítulo 5.3 – Inventariação de eventos e danos dos temporais com registo de notícias. A possibilidade de hierarquização das ocorrências segundo a tipologia iria permitir o agrupamento das ocorrências mais gravosas, que deveriam ser correlacionáveis com as classes de perigosidade costeira mais elevadas. Pelo contrário, danos provocados por temporais que sejam pouco significativos deveriam inserir-se em classes mais baixas. Esta hierarquização não é feita neste estudo, devido ao baixo número de ocorrências total, não sendo, por isso, possível criar tipologias de ocorrências significativas.

A figura 31 permite verificar a distribuição do índice de perigosidade costeira associada aos temporais.

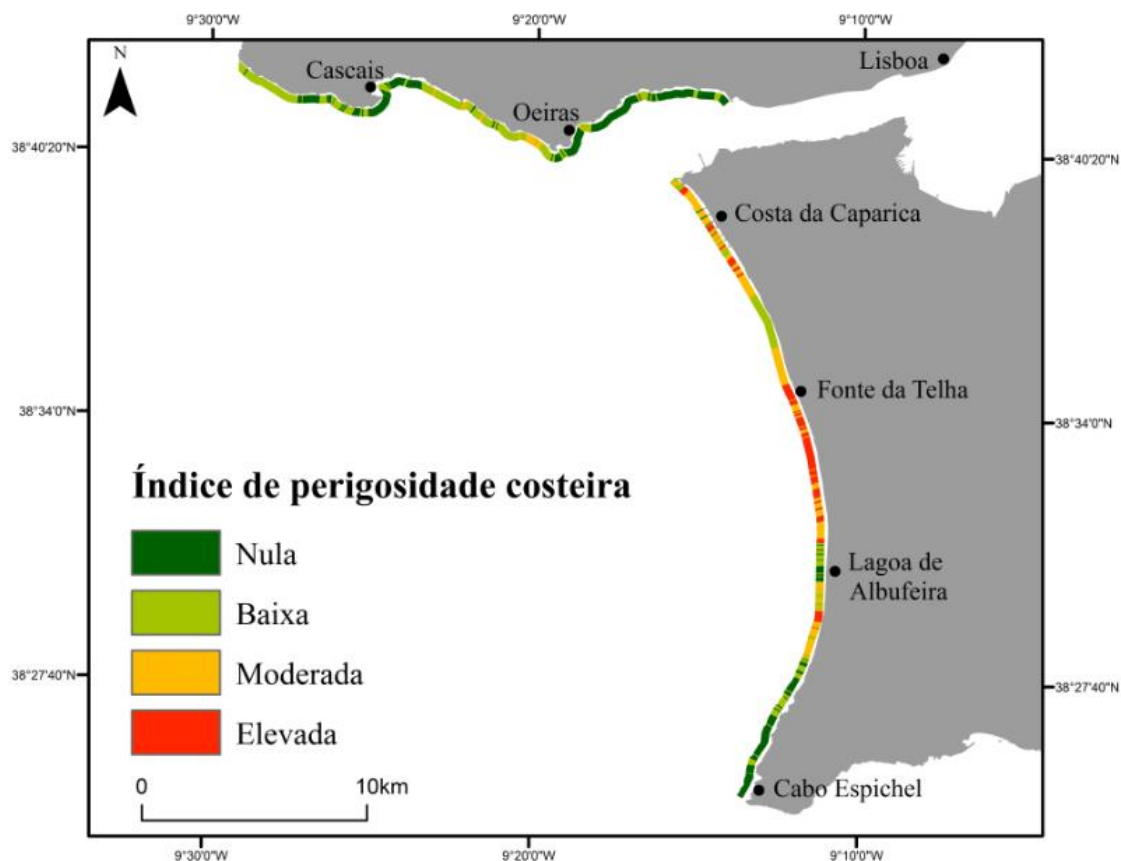


Figura 31 – Distribuição espacial do índice de perigosidade costeira entre o Cabo Raso e o Cabo Espichel.

Ao analisar a figura 31 pode verificar-se que, apesar de a variável com maior fator de ponderação ser a ondulação (H_s de um temporal com período de retorno de 100 anos), as áreas fortemente afetadas pela mesma não coincidem com as áreas de maior perigosidade costeira. De facto, o setor costeiro entre o Cabo Raso e Cascais e o setor de arribas do Cabo Espichel apresentam-se classificados com classes de perigosidade ‘nula’ ou ‘baixa’. Pelo contrário, os sectores costeiros da Costa da Caparica ou entre a Fonte da Telha e o norte da Lagoa de Albufeira apresentam-se classificados com índices de perigosidade moderada ou elevada, apesar de não conterem valores de ondulação tão elevados como os dos setores referidos anteriormente.

A classe de perigosidade ‘nula’ (fig. 31) ocorre em 31,8% da área de estudo, dominando três setores litorais: (i) em torno da área de Cascais, ocorre em sistemas rochosos, com baixas taxas de recuo da costa, por vezes de elevada altitude ou declive e abrigados da ondulação na baía de Cascais, onde também se verificam frequentemente estruturas de proteção costeira; (ii) no setor costeiro de Oeiras até ao estuário do Tejo é também uma área de sistemas rochosos afetados por baixa energia de H_s e com baixas

taxas de erosão e, por fim, (iii) na secção meridional da península de Setúbal devido às arribas calcárias ou areníticas de elevada altitude e declive, com ocupação do solo não associada a estruturas antrópicas. Assim, esta classe ocorre essencialmente em litorais rochosos que apresentem condições adversas à ocorrência de consequências dos temporais, devido à presença de estruturas de elevada altitude/declive, baixa erosão ou ocupação do solo pouco favorável.

A classe de perigosidade ‘baixa’ (fig. 31) ocorre no setor rochoso a oeste de Cascais, entre Cascais e Oeiras e a sul da Costa da Caparica. Associa-se assim a áreas de litoral rochoso com baixas taxas de erosão, ocupação do solo pouco favorável e baixo número de edifícios. Na península de Setúbal esta classe ocorre essencialmente em sistemas sedimentares com tendências de acreção ou em áreas de arribas, mas com menor representatividade. A distribuição do índice de perigosidade costeira baixa ocorre em 36% da área de estudo.

Mais uma vez se salienta que as classes de perigosidade ‘nula’ e ‘baixa’ em conjunto não confirmam a distribuição espacial das áreas de menor favorabilidade quando se considera a variável ‘ondulação’ (fig. 29a). Ao analisar a distribuição da energia da ondulação, descrita no ponto 5.2 – Distribuição espacial das características hidrodinâmicas dos temporais, verifica-se que a incidência da ondulação superior da H_s ocorre exatamente nas áreas do Cabo Raso e Cabo Espichel, que são representados com baixa ou nula classe de perigosidade. Assim, as variáveis responsáveis por este decréscimo de perigosidade nas áreas de superior ondulação são a da altitude e a do declive, em sistemas rochosos com pouca ocupação antrópica, ou a tendência de acreção da costa em áreas de sistemas sedimentares.

As classes de perigosidade ‘moderada’ e ‘elevada’ (fig. 31) ocorrem em 20% e 11,6% da área, respetivamente. Na península de Lisboa, estas classes ocorrem apenas em pequenos setores que representam sistemas arenosos. Pelo contrário, na península de Setúbal encontram-se em extensas áreas. Estas classes de perigosidade estão presentes em áreas de baixa altitude e declive e em sistemas não consolidados que são, de facto, os mais expostos às consequências de temporais marítimos extremos, não ocorrendo em sistemas rochosos. Também se verifica que setores costeiros de elevada erosão ou forte presença antrópica podem levar à subida deste índice, tal como se verifica na Costa da Caparica ou na Fonte da Telha. Um pequeno setor, no Vale Grande (a sul da Lagoa de Albufeira), apresenta uma elevada classe de perigosidade devido aos elevados índices de erosão e ocupação do solo de origem antrópica em sistemas sedimentares. A classe mais

elevada apenas ocorre na península de Setúbal, não afetando a península de Lisboa. Ocorre predominantemente entre a Fonte da Telha e o setor a norte da Lagoa de Albufeira, sendo composto por um sistema praia-duna e encontrando-se descrito pelas máximas taxas de erosão (fig. 29h), apesar de não haver uma forte ocupação humana. Também deverá ser referida a ondulação que incide nesta área e que tem valores de H_s significativos (fig. 29a), assim como a exposição da linha de costa que tem grande favorabilidade a incidência de temporais de NO.

O facto de apenas existirem níveis de perigosidade moderada ou elevada na península de Setúbal deve-se, não só à presença de sistemas sedimentares em erosão e com ocupação do solo, mas também devido à simulação de temporais de NO. Caso também fosse considerada a hipótese de temporais de SO verificar-se-ia uma maior incidência sobre a costa de Lisboa e consequentemente um incremento do índice de perigosidade.

Assim, poderá ser concluído que as principais áreas para a ocorrência de consequências dos temporais são as de sistemas não consolidados, de baixa altitude e declive, com ocupação do solo associada a atividade antrópica ou taxas de erosão costeiras elevadas, mas também com uma favorável exposição da linha de costa à incidência de temporais.

Os setores de maior perigosidade são assim os mais propensos a este fenómeno frequente e danoso. De forma a diminuir as consequências e proteger a população potencialmente afetada pelo evento é essencial o ordenamento do território da orla costeira. A secção classificada com valores máximos de índice de perigosidade entre a Fonte da Telha e o norte da Lagoa de Albufeira apresenta população apenas na Fonte da Telha, onde cerca de 37 edifícios clássicos estão instalados (INE, 2011). A restante área, em direção ao sul, não apresenta qualquer sinal de ocupação do solo, preservando os sistemas naturais de praia-duna. A preservação deste sistema é essencial, procurando um correto ordenamento do território e evitando o aumento da exposição destas áreas. Pelo contrário, as áreas da Fonte da Telha e, essencialmente, da Costa da Caparica encontram-se fortemente urbanizadas, sendo estas urbanizações afetadas frequentemente por temporais. A ocupação da duna cinzenta pela população interrompe o funcionamento do sistema natural, permitindo o aumento de taxas de erosão e a distribuição das inundações costeiras. Em áreas como esta, existem diversas adaptações que podem ser tomadas de forma a proteger a população e a diminuir a exposição da costa. As principais estratégias de adaptação das zonas costeiras têm sido: 1) a proteção da costa com infraestruturas

pesadas ou a alimentação artificial da costa, o que permite manter a linha de costa estável, através da instalação de esporões e paredões, ou mesmo avançar a sua tendência através da alimentação artificial de sedimentos. A reconstrução do sistema dunar, a construção de dunas artificiais ou de quebra-mares permitem também diminuir a capacidade de avanço da ondulação para a costa; 2) a acomodação permite a adaptação das infraestruturas de forma a reduzir a exposição das mesmas; 3) a realocização é uma estratégia de migração para o interior, de modo a tornar estas estruturas menos vulneráveis à ação do mar, permitindo também a recuperação dos sistemas naturais costeiros (Miranda, 2016; Santos *et al.*, 2015; Malalgoda *et al.*, 2014).

Devido à elevada intensidade de ocupação do solo na Costa da Caparica não é possível apenas o deslocamento da população para áreas interiores. De forma a proteger a população do efeito dos temporais foi realizada uma intervenção no reperfilamento das estruturas de defesa costeira, alimentação artificial das praias e o controlo da expansão urbana para sul com a proteção e preservação das dunas presente na área. Desta forma, a partir de 2004 foram iniciadas obras de intervenção que permitissem a proteção da costa e estas obras foram seccionadas em três partes (Veloso-Gomes *et al.*, 2007b):

- Primeira fase:

- Reperfilamento dos esporões, com aumento dos esporões que terão uma função estruturante e diminuição dos esporões que poderão vir a ser eliminados com o tempo;
- Reperfilamento das obras aderentes existentes na frente urbana;

- Segunda fase:

- Alimentação artificial das praias e dunas;
- Reabilitação da frente marinha;
- Reabilitação e proteção de dunas onde não existem obras de defesa costeira;
- Controlo do desenvolvimento urbano na área sul da Costa da Caparica;
- Retirada do aglomerado da Cova do Vapor;

- Terceira fase:

- Monitorização do desenvolvimento costeiro e possibilidade de remoção de três esporões;
- Analisar a possibilidade de novas operações de alimentação artificial e reajuste das estruturas;

Estas obras foram um passo para proteger uma urbanização, com um elevado número de pessoas presentes. De forma a evitar estes problemas noutras áreas,

essencialmente naquelas onde foram identificados elevados índices de perigosidade, é necessário o ordenamento da orla costeira, evitando a ocupação antrópica em áreas favoráveis à incidência de temporais marítimos. Por este motivo justifica-se a importância deste estudo, permitindo a identificação das áreas favoráveis à incidência dos temporais e da ocupação do solo existente, levando, conseqüentemente, a um ordenamento territorial que evite graves conseqüências em caso de ocorrência deste fenómeno extremo.

Capítulo 6 – Conclusão

As áreas costeiras estão expostas a um elevado número de perigos associados à sua hidrodinâmica e às características da linha de costa. As consequências de eventos perigosos têm sido agravadas devido à forte ocupação do litoral pelo Homem e dada a frequente incidência de temporais na costa portuguesa com graves consequências. Numa área costeira altamente antropizada, com elevada densidade populacional e com diversos setores em erosão, vê-se justificado o interesse temático desta dissertação. A coexistência destes fatores permite uma elevada possibilidade de ocorrências graves, com significativas perdas sociais e económicas em caso de temporal. O principal objetivo desta dissertação de mestrado é a análise da perigosidade a temporais na linha de costa entre o Cabo Raso e o Cabo Espichel. Para tal, é tido em conta a H_s do temporal com período de retorno de 100 anos, como variável desencadeante do fenómeno extremo, e uma série de variáveis condicionantes, relevantes para a caracterização da linha de costa e para a distinção das favorabilidades de incidência de temporais entre os setores costeiros.

O estudo de temporais marítimos, apesar do grande interesse que representa, tem suscitado diversos problemas em Portugal, bastando para isso verificar que a própria definição de «temporal» nem sempre está adequada à área de estudo e às condições hidrodinâmicas presentes. Para a definição dos temporais tem sido utilizado um limite fixo de 5m na costa ocidental de Portugal Continental, que não engloba intervalos temporais ou variações no valor limite de temporal e que poderá não estar de acordo com a hidrodinâmica presente. Diversos estudos têm sido realizados sobre a distribuição espacial dos temporais marítimos sobre a costa, sendo também frequente a utilização de diferentes métodos. Assim, a utilização do *CVI (Coastal Vulnerability Index)*, a modelação numérica dos processos físicos e a análise estatística têm-se revelado como os métodos mais frequentemente utilizados. São várias as variáveis utilizadas para o estudo dos temporais marítimos, sendo apresentadas variáveis relacionadas com a hidrodinâmica, com a caracterização morfológica da costa e com a ocupação do solo e infraestruturas de proteção costeira. Este relatório emprega uma metodologia que permite uma conjugação dos métodos de análise espacial, utilizados no domínio da geografia física, e a modelação numérica de processos físicos, frequentemente utilizada na área das engenharias, procurando a construção de um método fiel à realidade.

Assim, o processo de construção do índice pode ser resumido em quatro fases: o cálculo dos períodos de retorno de temporais extremos; a modelação numérica da hidrodinâmica dos temporais extremos; a inventariação das notícias de jornais referentes a ocorrências de temporais que permitissem identificar as principais consequências dos temporais e as suas características; e a construção do índice de perigosidade através da identificação das variáveis mais relevantes para o estudo. Este processo é acompanhado pela validação dos métodos utilizados e pelos resultados proporcionados.

O cálculo dos períodos de retorno tem grande interesse para o estudo da ondulação e é essencial, uma vez que permite o dimensionamento das estruturas de proteção e a determinação das faixas de proteção costeira. O seu resultado permitiu definir uma H_s de $\approx 13\text{m}$ para o período de retorno de 100 anos, mas o cálculo do período de retorno levanta diversas questões que deverão ser discutidas. O método utilizado para a análise dos dados é bastante relevante, influenciando a variação dos valores consideravelmente. Por isso, foram testados cinco métodos diferentes e a escolha do resultado mais fiável foi realizada através da distribuição dos valores segundo um intervalo de confiança de 95% e através da análise dos valores mencionados na bibliografia. Não só os métodos utilizados, mas também a base de dados de H_s disponível são essenciais, pois é necessário um período de tempo significativo para que se possam estimar resultados corretos. Nesta dissertação a base de dados utilizada provém do projeto *micore* (Dodet *et al.*, 2010). Assim, o estabelecimento dos períodos de retorno permite o conhecimento das características de um temporal extremo excecional, sendo utilizadas as características do período de retorno de 100 anos para o estudo da perigosidade. A caracterização da hidrodinâmica dos temporais foi analisada ao pormenor, dado que este é o fator desencadeante. A análise da distribuição espacial da H_s demonstrou valores máximos no Cabo Raso e no Cabo Espichel, sendo estas duas as áreas com maior favorabilidade à ocorrência de temporais marítimos, enquanto que os valores da altura significativa da onda sofriam um decréscimo à medida que se aproximavam do estuário do rio Tejo. A presença do banco sedimentar do Tejo exerce uma forte influência sobre a ondulação, não permitindo a propagação da mesma, com valores significativos, em direção ao estuário e possibilitando uma canalização da ondulação em direção à Costa da Caparica. Por este motivo, verifica-se um incremento nos valores da H_s nesta área, que atinge valores ligeiramente superiores aos que se encontram na Fonte da Telha. Assim, a distribuição do valor de H_s é essencial para o estudo dos temporais, no entanto, para a obtenção desta variável é necessário recorrer à modelação numérica de processos físicos – modelação da ondulação. Este processo é

usado largamente na comunidade científica, com diversas finalidades, sendo um método válido. No decorrer do desenvolvimento dos modelos de modelação numérica é essencial introduzir variáveis corretas, sobretudo a variável da batimetria, que deverá conter uma boa resolução, e a variável do vento, essencial para a geração da ondulação ao largo da costa. Também é fundamental a correta parametrização dos modelos. Sem a verificação e introdução destas variáveis, os modelos poderão oferecer valores incorretos e não representativos da hidrodinâmica da área. Por este motivo, também é indispensável a validação do modelo através de boias ondógrafo presentes na proximidade da área de estudo. Neste relatório, e para este fim, foi utilizada a boia da Administração do Porto de Lisboa, que, por se encontrar a uma profundidade de 30m, está localizada numa região onde a hidrodinâmica é influenciada pelas características da batimetria. Deste modo, foi validada a caracterização da distribuição espacial da H_s utilizada posteriormente no cálculo da perigosidade costeira.

Outro método para a determinação da incidência dos temporais foi a análise das consequências no litoral. Esta análise permitiu definir diferentes tipos de ocorrências, em especial na área da Costa da Caparica, que é a mais fortemente afetada, com um total de 41 ocorrências, seguida pelas freguesias de Cascais e Estoril com 12 ocorrências determinadas e, por fim, o concelho de Oeiras, onde se registaram 7 ocorrências. Estas são as áreas mais afetadas por temporais, segundo a análise das ocorrências. É possível observar que este dado não é concordante com os dados da modelação dos temporais, que indicavam os maiores valores de H_s no Cabo Raso e no Cabo Espichel. Assim, constatou-se que as principais ocorrências estão localizadas em áreas urbanas com elevada presença antrópica, mesmo que estas áreas não sejam afetadas pelos maiores valores de ondulação. Por este motivo e desde já se pode asseverar a importância do ordenamento do território para a diminuição das consequências provocadas por temporais.

Para o cálculo da perigosidade costeira foi necessária a escolha das principais variáveis a serem utilizadas, processo esse que foi realizado através da análise bibliográfica. Foram definidas doze variáveis importantes para a caracterização da hidrodinâmica, das características morfológicas da costa e da presença antrópica e todas elas foram analisadas conforme as suas características, de forma a serem classificadas de um a cinco – a classe mais baixa, representando as áreas com nula ou muito baixa favorabilidade a ocorrência de temporais e a classe mais elevada representando as áreas com uma favorabilidade superior. Assim, todas as classes obtiveram a sua distribuição conforme a sua favorabilidade a temporais marítimos. Esta classificação foi, por vezes,

baseada em literatura científica que analisava as mesmas variáveis, no entanto, por forma a classificar as variáveis conforme a área de estudo, o aspeto mais importante a analisar foram as variações espaciais das características de cada variável, pelo que esta classificação apresenta alguma subjetividade.

A favorabilidade da linha de costa a temporais é condicionada de forma diferente pelas diversas variáveis e, por este motivo, foi estabelecida uma agrupação hierárquica entre as mesmas. Considerou-se que a ondulação fosse a variável mais importante, dado que esta é a variável desencadeante, e de seguida foram agrupadas num segundo grupo as variáveis da altitude, do declive, da COS e do BGRI. O terceiro grupo contém uma série de variáveis que descrevem as características físicas da costa e, por último, a variável das áreas protegidas, pois era aquela que menor importância apresentava. O agrupamento das seguintes variáveis foi realizado através de uma *AHP* que permitiu verificar se as diferenças estabelecidas entre as variáveis eram sólidas e se foi estabelecida uma ordem hierárquica consistente. Também este processo introduz subjetividade, sendo possível encontrar diferentes hierarquias entre as variáveis utilizadas para o estudo dos perigos costeiros segundo a bibliografia.

A conjugação entre as doze variáveis independentes permitiu obter a distribuição espacial da perigosidade a temporais costeiros na área de estudo. Assim, o índice demonstrou que 33,2% da área se encontra nas classes de ‘moderada’ a ‘elevada’ perigosidade, enquanto 66,8% da área obtém valores da baixa perigosidade. É de notar que as áreas identificadas como as mais favoráveis para a ocorrência de temporais segundo a variável da H_s com período de retorno de 100 anos não foram englobadas pelas de elevada perigosidade segundo o índice. Tal facto deve-se às características da costa onde a ondulação com maiores valores de H_s incidia e que apresentavam elevada altitude, declive, sem ocupação do solo e em sistemas rochosos. Pelo contrário, a ondulação incidente sobre a área entre a Costa da Caparica e a Lagoa de Albufeira apresentava valores baixos a médios, e o índice de perigosidade foi identificado como máximo precisamente neste setor. As características desta costa, com ocupação do solo na Costa da Caparica e Fonte da Telha em sistemas sedimentares com elevadas taxas de erosão, permitem obter estes elevados setores de perigosidade. Também se verifica que a variável da tendência da costa apresentava grande importância, dado que no setor a sul da Costa da Caparica, onde taxas de acreção da costa dominavam, o índice de perigosidade foi baixo, ao contrário das áreas envolventes. Pode concluir-se que a altitude, o declive, a tendência da costa e a presença humana são os fatores que controlam fortemente as áreas

de elevada perigosidade. A determinação das áreas afetadas segundo a análise das ocorrências obteve valores mais próximos do índice de perigosidade costeira do que a análise da hidrodinâmica dos temporais extremos. A validação do mapa de perigosidade costeira foi realizada através das 67 ocorrências registadas segundo o jornal «Diário de Notícias», verificando-se que $\approx 75\%$ das ocorrências estão presentes nos índices de perigosidade moderada a elevada.

A construção do índice de perigosidade pode ser aperfeiçoada de diversas formas. Poderá ser importante verificar como a introdução de novas variáveis iria afetar o índice de perigosidade, essencialmente com a determinação das diferenças na distribuição do nível médio do mar, *storm surge*, na amplitude das marés ou nas correntes marinhas que estão presentes na determinada área de estudo. Apesar da sua importância, neste método apenas foi implementada a H_s como fator desencadeante. A simulação de temporais de SO permitiria a incidência da ondulação diretamente sobre a costa da península de Lisboa, que se encontra mais abrigada no caso dos temporais de NO. A ondulação, como a variável mais importante para a construção do índice de perigosidade, e a introdução de outras variáveis relacionadas com a hidrodinâmica poderiam levar a significativas alterações nos padrões do índice de perigosidade costeira. O aumento do número de eventos e ocorrências na base de dados poderia ser realizado através dos diversos métodos discutidos anteriormente. Este aumento da base de dados permitiria a inserção de uma parte da base de dados no modelo de perigosidade, funcionando como uma variável independente, e a utilização da outra parte da base de dados para a validação dos resultados. A introdução das ocorrências como outra variável independente poderia definir um importante recurso para a perigosidade a temporais. Também seria possível a classificação hierárquica entre as variáveis, por forma a obter dados mais corretos sobre a validação do modelo e a inventariação de um maior número de consequências, prejuízos criados e áreas afetadas. O facto de existirem muitas possibilidades para a melhoria do índice de perigosidade costeira não significa que este não apresente dados corretos ou válidos, já que, tal como foi afirmado, o modelo foi validado e apresenta resultados consistentes. As hipóteses de melhoria são indicativas do progresso que poderá ser atingido com o aumento do tempo disponível para a continuação deste trabalho, proporcionando assim resultados mais exatos, com uma validação mais correta e precisa.

Referências bibliográficas

- Abuodha, P. e Woodroffe, C. (2006) *Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast*. In Woodroffe CD.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2013a) *Estudo do litoral na área de intervenção da APA, I.P. / ARH do Tejo – Caracterização do clima de agitação junto à costa*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2013b) *Estudo do litoral na área de intervenção da APA, I.P. / ARH do Tejo – Caracterização do regime de marés*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia
- Alveirinho-Dias, J. (1993) *Estudo da avaliação da situação ambiental e propostas de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa* (Geologia costeira). Liga para a Proteção da Natureza, Ministério do Ambiente.
- Antunes, C. e Taborda, R. (2009). Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *Journal of Coastal Research*, 56, 218-222.
- Antunes, C. e Godinho, J. (2011). Estudo da análise harmónica da maré aplicada ao marégrafo de Cascais. *VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*.
- Antunes, C. (2012) Implicação da subida do NMM na necessidade de revisão dos sistemas de referência verticais. *3º Encontro Nacional de Geodesia Aplicada*, 3, 1-6.
- Anfuso, G. e Martinez, J.A. (2009) Assessment of coastal vulnerability through the use of GIS tools in South Sicily (Italy). *Environmental Management* 43, 533–545.
- Ângela, A., Mendes, S. e Corte-Real, J. (2014) Impacts of the storm Hércules in Portugal. *Finisterra*, XLIX, 98, 197-220.
- Antunes, C. (2014) Eventos Extremos e a variação do Nível do mar. Actas das 3as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, *Instituto Hidrográfico*, Lisboa 24-26 de junho, 33-36.

Barata, A. (2009). A ordenação do espaço litoral de Lisboa, 1860-1940. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias sociales. Universidad de Barcelona*, 8, núm. 296

Battjes, J. (1974) *Computation of Set-up, Longshore currents, Run-up and Over-topping due to Wind-generated Waves*. Report N° 74-2, Department of Civil Engineering. Delft, Netherlands: Delft University of Technology,. 241.

Basco, D. e Mahmoudpour, N. (2012) The modified coastal storm impulse (COSI) parameter and quantification of fragility curves for coastal design. *Coastal Engineering Proceedings*, N° 33, 1-13.

Bento, R., Silva, D., Rusu, L. e Soares, C. (2010). Avaliação da agitação marítima ao largo dos portos de Faro e Setúbal. *Primeiras Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. 265-268.

Bender, J. e Dean, R. (2003) Wave field modification by bathymetric anomalies and resulting shoreline changes: a review with recent results. *Coastal Engineering*, 49, 125 – 153.

Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H. (1999) A third generation wave model for coastal regions. Part 1: Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*. 104, C4, 7649-7666.

Câmara Municipal de Oeiras (2013). História, <http://www.cm-oeiras.pt> [acedido a 11 de março de 2017].

Câmara Municipal de Cascais (2017). História, <http://www.cm-cascais.pt> [acedido a 11 de março de 2017].

Capitão, R. e Fortes, C. (2011) Análise comparativa entre estimativas do modelo SWAN e medições de agitação marítima efectuadas na Praia da Amoreira, Portugal. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 11(3), 283-296

Chadenas, C., Creach, A. e Mercier, D. (2014) The impact of storm Xynthia in 2010 on coastal flood prevention policy in France. *Journal of Coast Conserv* (2014) 18:529–538.

- Ciavola, P., Ferreira, O., Haerens, P., Van Koningsveld, M., Armaroli, C. e Lequeux, Q. (2011). Storm impacts along European coastlines. Part 1: The joint effort of the MICORE and ConHaz Projects. *Environmental science & policy*, 14, 912 – 923.
- Coles, S. (2001) *An introduction to statistical modelling of extreme values*. Springer series in statistics, 208.
- Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F. e Taveira Pinto, F. (2006) A vulnerability analysis approach for the Portuguese West Coast. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol 91, 251-262.
- Costa, M. (1987) Análise de um ano de dados de agitação marítima na Figueira da Foz. *Anais do Instituto Hidrográfico*, 8, 23-28
- Costa, M. (1994) Agitação marítima na costa portuguesa. *Anais do Instituto Hidrográfico*, 13, 35–40.
- Costa, M., Silva, R. e Vitorino, J. (2001) Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *Actas das 2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Associação Internacional de Navegação*, Sines, 1-20.
- Creel, L. (2003) Ripple effects: population and coastal regions. *Population Reference Bureau, Making the Link*, 1-8.
- Davidson-Arnott, R. (2010) *An introduction to coastal processes and geomorphology*. Cambridge University press, 442.
- Di Paola, G., Iglesias, J., Rodriguez, G., Benassai, G., Aucelli, P. e Pappone, G. (2011) Estimating coastal vulnerability in a meso-tidal beach by means of quantitative and semi-quantitative methodologies. *Journal of Coastal Research SI*, 61, 303–308.
- Dolan, R. e Davis, R. (1992). Coastal Storm Hazards. *Journal of Coastal Research Special Issue No. 12: Coastal Hazards*, 103-114.
- Dodet, G., Bertin, X. e Taborda, R. (2010) Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling* nº31, 120-131

Ellis, J., Sherman, D. e Shroder, J.F. (2015) *Hazards and Disasters Series Coastal and Marine Hazards, Risks, and Disasters*. Elsevier Inc.565

Ferreira, O. e Alveirinho-Dias, J. (1997) Avaliação da acção de temporais na costa oeste portuguesa (Sector Aveiro – Cabo Mondego). Colectânea de ideias sobre a zona costeira de Portugal. Associação Eurocast – Portugal, Porto. 429-447.

Finkl, C.W., Charlier, R.H. e Krupa, S.L. (2005). Vulnerability of coastal environments to land use and abuse: the example of southeast Florida. *International Journal of Environmental Studies*, 62(5), 535–554.

Freire, M. (1986) *A planície litoral entre a Trafaria e a Lagoa de Albufeira. Estudo de geomorfologia litoral*. Dissertação de mestrado em Geografia Física e Regional, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Freire, P. e Andrade, C. (2000) Short-term Morphological Evolution of the Alfeite Estuarine Beach, *3º Simpósio sobre a Margem Continental Ibérica Atlântica*, Faro (Portugal), 9-40.

Gama, C., Taborda, R. e Dias, J.A. (1997) - Sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica (storm surge) em Portugal continental. *Colectanea de Ideias sobre a Zona Costeira de Portugal*, Associação Eurocoast-Portugal, Porto, 131 – 149.

Garcia, R. e Zêzere, J.L. (2003) Avaliação de Riscos Geomorfológicos: Conceitos, Terminologia e Métodos de Análise. *III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território*, Livro de Actas, Vila Real, 299-308.

Godinho, J. (2011) *Variação temporal das principais constituintes harmónicas da maré de Cascais*. Dissertação de mestrado em Engenharia Geográfica na Faculdade de Ciências.

Gomes, A. (2000) Evidências geomorfológicas de alguns processos responsáveis pela evolução quaternária do canhão de Setúbal. *Ciências da Terra (UNL)*, 14, 213-222.

Gorrell, L., Raubenheimer, B., Elgar, S. e Guza, R. (2011) SWAN predictions of waves observed in shallow water onshore of complex bathymetry. *Coastal Engineering*, 58, 510–516.

Gornitz, V.M., Daniels, R.C., White, T.W. e Birdwell, K.R. (1994) The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the U.S. Southeast. *Journal of Coastal Research*, 12, 327–338.

GTL, Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral (2014) *Gestão da zona costeira - O desafio da mudança*. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa, 237.

Guerreiro, C., Bizarro, A., Duarte, J. e Taborda, R. (2006) *Os Enigmáticos Canhões Submarinos da Plataforma Continental Portuguesa - Resultados preliminares do projecto científico DEEPCO (Deep Sedimentary Conduits of the West-Iberian Margin)*. Anais do Instituto Hidrográfico, 18, 169-182.

Guerreiro, M., Fortunato, A., Freire, P., Rilo, A., Taborda, R., Freitas, M., *et al.* (2015) Evolution of the hydrodynamics of the Tagus estuary (Portugal) in the 21st century. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 15, 65-80.

Haerens, P., Bolle, A., Trouw, K. e Houthuys, R. (2012) Definition of storm thresholds for significant morphological change of the sandy beaches along the Belgian coastline. *Geomorphology*, 104-117.

Hanson, H. e Larson, M. (2008) Implications of extreme waves and water levels in the southern Baltic Sea. *Journal of Hydraulics Research* 46(2), 292–302.

Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., *et al.*, (1973) Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Deutsch. Hydrogr. Z., Suppl.*, 12, 95.

Huang, Y., Weisberg, R., Zheng, L. e Zijlema, M. (2012) Gulf of Mexico hurricane wave simulations using SWAN: Bulk formula-based drag coefficient sensitivity for Hurricane Ike. *Journal of geophysical research: oceans*, vol. 118, 1–23.

Holthuijsen, L.H., (2007) *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, Delft University of Technology and Unesco-IHE, 387.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2017) *Áreas Protegidas*, www.icnf.pt [7 de abril de 2017]

Instituto Nacional de Estatística (2011) *Alojamentos familiares clássicos (N.º)*. <http://www.ine.pt>. [acedido em 10 de março de 2017].

Julião, R., Nery, F., Ribeiro, J., Branco, M. e Zêzere, J. (2009) *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e par a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil.

Kinetic Analysis Corporation (2013) *Storm Hazard Assessment for St. Lucia and San Pedro/Ambergris Caye, Belize - Methodology for Storm Hazard Mapping*. Caribbean Development Bank

Knabb, R., Rhome, J. e Brown, D. (2005). *Tropical Cyclone Report Hurricane Katrina, 23-30 August 2005*. National Hurricane Center.

Kusky, T. (2008) *The Coast – Hazrdous Interctions within the Coast Environment*. Facts on File, Inc, 48-57.

Malalgoda, C., Amaratunga, D. e Haigh, R. (2014) Challenges in creating a disaster resilient built environment. *Procedia Economics and Finance*, 18, 736 – 744.

Martins, A. (2012) *Análise da rebentação de ondas com ensaios em laboratório*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa.

Martucci, G., Carniel, S., Chiggiato, J., Sclavo, M., Lionello, P. e Galati, B. (2010) Statistical trend analysis and extreme distribution of significant wave height from 1958 to 1999 – an application to the Italian Seas. *Ocean Science*, 6, 525-538.

McLaughlin, S., McKenna, J. e Cooper, J.A.G. (2002) Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coast Research*, 36, 487–497

McLaughlin, S. e Cooper, J.A.G. (2010) A multi-scale coastal vulnerability index: a tool for coastal managers? *Environmental Hazard* 9(3), 233–248

Mendoza, E.T. e Jiménez, J.A. (2006) Storm-induced beach erosion potential on the Catalanian Coast. *Journal of Coastal Research*, 48, 81–88.

- Miranda, J. (2016) *Proposta para a adoção de uma estratégia de adaptação para frentes urbanas costeiras em risco de litoral de arriba entre Alcobaça e o Cabo Espichel. Contributo para uma política costeira sustentável em cenário de alterações climáticas*. Dissertação de mestrado em Engenharia do ambiente, Perfil de Engenharia de sistemas ambientais.
- Moritz, H. e Moritz, H. (2006) Evaluating extreme storm power and potential implications to coastal infrastructure damage. *9th International workshop on wave hindcasting and forecasting*, Victoria. 1-21
- Nageswara, K., Subraelu, P., Venkateswara, T., Hema, B., Ratheesh, R., Bhattacharya, S., *et al.* (2008) Sea level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast, India through remote sensing and GIS. *Journal of Coastal Conservation*, 12, 195-207
- Neves, M. (2004) – Evolução actual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa, 554.
- Ochi, K.M. (1998) *Ocean Waves – The stochastic approach*. Cambridge University Press, New York. 319.
- Omey, E., Mallor, F. e Nualart, E. (2009) *An introduction to statistical modelling of extreme values. Application to calculate extreme wind speeds*. Hub research paper – Economics & Management, 50.
- Orton, P., Vinogradov, S., Blumberg, A. e Georgas, N. (2014) *Hydrodynamic Mapping of Future Coastal Flood Hazards for New York City*. Stevens Institute of Technology, Davidson Laboratory, Castle Point on Hudson, Hoboken, NJ.
- Pedrosa, A. (2012) Risco de erosão no litoral norte de Portugal: uma questão de ordenamento do território. *Soc. & Nat., Uberlândia* nº 25, 133-146.
- Pires, H.O. e Pessanha, V.E. (1986) Wave power climate of Portugal. *Proceedings IUTAM Symposium, Hydrodynamics of ocean wave-energy utilization*, 157-167

Pires, I., Craveiro, J. e Antunes, Ó. (2012) Artificialização do solo e Vulnerabilidade Humana em duas zonas sujeitas a processos de erosão costeira: casos de estudo da Costa da Caparica e Espinho (Portugal). *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 12, 277-290.

Pita, C. e Santos, J. (1989) Análise dos temporais da costa oeste de Portugal Continental. Report 1/89-A, *Instituto Hidrográfico/LNEC*

Ramos-Pereira, A. (2004a) Geografia Física e Ambiente: Diversidade do meio físico e recursos naturais. *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*, A.M.L., Lisboa, 47-65.

Ramos-Pereira, A. (2004b) O espaço litoral e a sua vulnerabilidade. *Geoinova*, 9, Lisboa, 33-43.

Rangel-Buitrago, N. e Anfuso, G., (2015) Risk Assessment of Storms in Coastal Zones: Case Studies from Cartagena (Colombia) and Cadiz (Spain), *Springer Briefs in Earth Sciences*, DOI 10.1007/978-3-319-15844-0_2

Reis, M., Santos, J., Neves, D., Capitão, R. e Fortes, C. (2014) Avaliação da probabilidade de ocorrências de galgamentos não admissíveis no posto 2 do terminal de granéis líquidos do porto de Sines. *Territorium*, 21, 95-113.

Restrepo, J., Otero, L., Casas, A.C., Henao, A. e Gutiérrez, J. (2012) Shoreline changes between 1954 and 2007 in the marine protected area of the Rosario Island Archipelago (Caribbean of Colombia). *Ocean Coastal Management*, 69, 133–142.

Ribeiro, J., Silva, A.J.R. e Leitão, J.C. (2009) Modelos Operacionais de previsão da agitação para suporte à navegação e gestão de riscos, *6as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, PIANC Portugal, Funchal.

Rocha, C. (2016) *Estudo e Análise da Vulnerabilidade Costeira face a Cenários de subida do Nível Médio do Mar e Eventos Extremos devido ao efeito das Alterações Climáticas*. Dissertação de mestrado em Engenharia Geográfica, FACUL, Universidade de Lisboa.

Rocha, J., Ferreira, J.C., Simões, J. e Tenedório, J.A., (2007) Modelling Coastal and Land Use Evolution Patterns through Neural Network and Cellular Automata Integration. *Journal of Coastal Research*, 50, 827-831.

- Rogers, W., Kaihatu, J., Hsu, L., Jensen, R., Dykes, J. e Holland, K. (2006) Forecasting and hindcasting waves with the SWAN model in the Southern California Bight. *Coastal Engineering*, 54, 1–15.
- Rusu, E., Pilar, P. e Guedes Soares, C. (2008) Evaluation of the wave conditions in Madeira Archipelago with spectral models. *Ocean Engineering* 35. 1357–1371.
- Saaty, R.W. (1987). “The Analytic Hierarchy Process – What it is and how it is used”. *Math Modelling*, Vol.9, Nº3-5, 161-176.
- Sampaio, M. (2008) *Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente a Pinheiro da Cruz*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- Santos, F., Lopes, A., Moniz, G., Ramos, L. e Taborda, R. (2015) As recomendações do relatório do grupo de trabalho do litoral – 2014 e a sua aplicação. *VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*.
- Sartini, L., Mentaschi, L. e Besio, G. (2015) Comparing different extreme wave analysis models for wave climate assessment along the Italian coast. *Coastal Engineering*, 100, 37-47.
- Scarrott, C. e MacDonald, A. (2012) A review of extreme value threshold estimation and uncertainty quantification. *Statistical Journal*, 10, 33-60.
- Schwartz, M. (2005). *Encyclopedia of coastal science*. Department of Geology Western Washington University, USA. Springer.
- Seenath, A., Wilson, M. e Miller, K. (2016) Hydrodynamic versus GIS modelling for coastal flood vulnerability assessment: Which is better for guiding coastal management? *Ocean & Coastal Management*, 120, 99-109.
- Small, C. e Nicholls, R.J. (2003) A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 19, 3, 584-599.
- Silva, A. (2015) *Gestão Territorial em zonas costeiras – O exemplo de São Martinho do Porto*. Dissertação de mestrado em Geografia Humana – Ordenamento do território e desenvolvimento, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

Silva, F., Pinto, J. e Almeida, S. (2009) Operational wave forecast system for the Portuguese coast. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 1055- 1059.

Silva, G. (2016) *Avaliação da suscetibilidade à inundação marinha da área ribeirinha do Funchal*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

Silva, R., Coelho, C., Veloso-Gomes, F. e Taveira-Pinto, F. (2008) A importância de alguns parâmetros hidromorfológicos em estudos de modelação das zonas costeiras. *3as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*. 25-35

Silva, S., Martinho, M., Capitão, R., Reis, T., Fortes, J.C. e Ferreira, J.C. (2017) An index-based method for coastal-flood risk assessment in low-lying areas (Costa da Caparica, Portugal). *Ocean & Coastal Management*, 144, 90-104.

Sousa, N. (2015) *Dinâmica da linha de costa e vulnerabilidade à erosão no setor não artificializado do arco Caparica-Espichel*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

SWAN team (2007) *SWAN User manual*, Delft University of Technology, 111.

Taborda, R., Andrade, C., Marques, F., Freitas, M.C., Rodrigues, R. e Pólvora, C. (2010) *Plano estratégico de Cascais às alterações climáticas – Sector Zonas Costeiras*. Câmara Municipal de Cascais.

Thieler, E.R. e Hammar-Klose, E.S. (1999) National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea Level Rise: preliminary results for the US. Atlanta coast USGS, 99–593.

Thomas, J. e Dwarakish, G.S. (2015) Numerical wave modelling – A review. *Aquatic Procedia*, 4, 44 –448.

Tolman, H. (2002) *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22*, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, 133.

Trindade, J. (2010) *Dinâmica morfossedimentar de praias dominadas por sistemas de arriba (Peniche - Cascais)*. Doutoramento em Geografia, Especialidade Geografia Física, Universidade Aberta.

Trindade, J. e Ramos-Pereira, A. (2013) Inundation and erosion susceptibility in wave dominated beaches. *Finisterra*, XLVIII, 95, 2013, 83 -104.

Veloso-Gomes, F., Barroco, A., Ramos-Pereira, A., Sousa-Reis, C., Calado, H., Ferreira, J., Conceição-Freitas, M. e Biscoito, M. (2007a) *Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Pais-Barbosa, J., Costa, J. e Rodrigues, A. (2007b) As Obras de Defesa Costeira na Costa da Caparica. Na Crista das Ondas do Mar e da Comunicação Social. *2as Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente*, FEUP

Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Pais-Barbosa, J., Costa, J. e Rodrigues, A. (2007c) Estudo das Intervenções na Costa da Caparica. *1as Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente*, FEUP.

Viles, H., e Spencer, T. (1995) *Coastal problems. Geomorphology, ecology and society at the coast*. Edward Arnold, London, 350.

Wadey, M.P., Brown, J.M., Haigh, I., Dolphin, T. e Wisse, P. (2015) Assessment and comparison of extreme sea levels and waves during the 2013/14 storm season in two UK coastal regions. *Natural Hazards Earth Systems Science*. 15, 2209–2225.

Zêzere, J.L., Pereira, S., Tavares, A.O., Bateira, C., Trigo, R.M., Quaresma, I., Santos, P.P., Santos, M. e Verde, J. (2014) Disaster: a GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Natural hazards*, 72, 503-532

Anexos

Anexo I – Base de dados de eventos e ocorrências provocados por temporais

EV	OC	Data J.	Data O.	LOC.	Concelho	P.S/ P.L	Georef.	C_X	C_Y	Sistema	CONSEQ.	OBS.	Pág.	Fonte
1	1	2001_01_22	2001_01_22	São João da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	Dap; RCD; EC	Prejuízo de Milhares de contos	26	DN
1	2	2001_01_22	2001_01_22	Praia do Parque	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-95170.454	-115059.834	Pr-D	Dap; DIA; EC		26	DN
1	3	2001_01_22	2001_01_22	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-95565.091	-112947.495	La	Gp; Pd		26	DN
2	4	2003_03_29	2003_03_27	Cabo Espichel	Sesimbra	P.S.	NC	-95179.02	-138649.338	O	N; 3M		33	DN
3	5	2003_04_16	2003_03_26	São João e Santo Antónia da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96933.894	-112324.075	Pr-D	Dap; Gp; EC; DIA		24	DN
4	6	2003_02_27	24 a 27 de Fevereiro	Praia de São João	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	Ipe; Ir; RCD		24	DN
5	7	2003_11_12	2003_11_12	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96553.711	-112962.379	La	Gp; Pd		22	DN
6	8	2003_12_19	2003_12_19	Boca do Inferno	Cascais	P.L.	Aprox.	-112854.927	-107813.777	A	1 M			8*
7	9	2005_03_28	2005_03_28	Cova do Vapor	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97908.197	-110803.878	La	Ipe; Ic; Cd		24	DN
8	10	2006_03_21	2006_03_21	São João da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	DIA; RCD;		32	DN
9	11	2006_12_10	3 a 10 de Dezembro	São João da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	EC - 16 m do areal		27	DN
10	12	2007_02_24	2007_01_22	Bar Búzio	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96882.241	112377.852	Pr-D	EC; Dap		39	DN

11	13	2007_01_22	2007_01_22	São João da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	Ipe; Gd		30	DN
12	14	2007_02_24	2007_02_20	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96527.008	-113012.746	La	Pd		39	DN
12	15	2007_02_24	2007_02_23	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96553.83	-113030.675	La	Gp; Dp	Prejuízo de 400 000 €	39	DN
12	16	2007_02_22	2007_02_21	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96553.83	-113030.675	La	Dp	Maré = 3,80m	29	DN
12	17	2007_02_21	2007_02_21	Cabo Espichel	Sesimbra	P.S.	Aprox.	-95157.562	-138642.691	A	1 Pf		31	DN
13	18	2007_03_21	2007_03_20	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96553.83	-113030.675	Pr-D	Pd; Ipe;	Ondulação de 4m	30	DN
14	19	2007_01_11	2007_01_11	São João da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	EC		29	DN
14	22	2007_01_02	2007_01_02	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	NC	-96553.83	-113030.675	Pr-D	Gd		9	DN
15	20	2007_01_03	1 a 3 de Janeiro	São João da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	EC - 10 m	Ondulação de 3,5m e prejuízo de 200 000€	24	DN
16	21	2008_04_09	2008_04_09	Cascais - Lisboa	Cascais	P.L.	NC	-108073.60	-107389.509	La	Ipe			21*
16	23	2008_04_10	2008_04_10	Entre Caxias e Paço de Arcos	Oeiras	P.L.	Aprox.	-100407.04	-107307.608	La	Ipe			23*
17	24	2008_04_27	2008_04_26	Praia da Sereia	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-93796.278	-117896.217	O - A	1 M	Ondulação de 2,5m	22	DN
17	25	2008_04_28	2008_04_28	Praia da Saúde	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-95352.243	-114797.097	O - A	1 Pf		22	DN
17	26	2008_04_28	2008_04_28	Praia da Mata	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-94892.055	-1155613.887	O - A	3 Pf		22	DN
17	27	2008_04_28	2008_04_28	Praia do Paraíso	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96294.593	113359.381	O - A	1 Pf		22	DN

17	28	2008_04_28	2008_04_28	Praia da Mata	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-94909.785	-115595.431	O - A	1 Pf		22	DN
17	29	2008_04_28	2008_04_28	Praia do Paraíso	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96300.709	-113335.793	O - A	4 Pf		22	DN
17	30	2008_04_27	2008_04_26	Praia Nova	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-95777.997	-114094.382	O - A	2 Pf		26	DN
18	31	2008_03_12	2008_03_12	São João da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	EC - 20m		22	DN
19	32	2009_02_02	2009_02_02	Entre a Torre e Santo Amaro de Oeiras	Oeiras	P.L.	Aprox.	-102941.25	-109153.854	La	Ipe			32*
20	33	2009_02_20	2008_02_18	Praia do Rei	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-94344.508	-116694.12	O	1 M		25	DN
21	34	2009_11_18	2009_11_18	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	NC	-96553.83	-113030.675	Pr-D	EC		20	DN
22	35	2009_12_31	2009_12_31	Paço de Arcos	Oeiras	P.L.	Aprox.	-100959.42	-107902.801	La	Gp; Mpesc	Prejuízo de 15 000€		35*
23	36	2010_01_04	2010_01_04	Praia da Quebrada	Oeiras	P.L.	Aprox.	-99512	-107064.429		6 Desaj			36*
24	37	2010_02_28	2010_02_28	Santo Amaro e Paredes	Cascais	P.L.	Aprox.	-104243.39	-109289.165	La	Ipe		17	DN
25	38	2010_04_26	2010_04_26	Praia do Paraíso	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96314.133	113302.892	Pr-D	1 M		17	DN
26	39	2010_10_10	2010_10_10	Cascais	Cascais	P.L.	Aprox.	111851.17	-107266.321	La	Ipe		22	DN
26	40	2010_10_10	2010_10_10	Estoril	Cascais	P.L.	Aprox.	-109820.14	-106530.054	La	Ipe; DIA		22	DN
26	41	2010_10_11	2010_10_11	São João do Estoril	Estoril	P.L.	Aprox.	-110172.76	-106441.9	La	Ipe; Dap		14	DN
27	42	2010_12_05	2010_12_05	Entre Paço de Arcos e	Oeiras	P.L.	Aprox.	-100369.35	-107278.179	La	Ipe			42*

				Alto da Boa Viagem										
28	43	2010_02_09	2010_02_09	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96553.83	-113030.675	O	N; 2M		17	DN
29	44	2011_02_17	2011_02_17	Cascais	Cascais	P.L.	Aprox.	-111893.33	-107187.379	La	Ipe		17	DN
30	45	2011_02_21	2011_02_21	Cascais	Cascais	P.L.	Aprox.	-111848.91	-107006.029	La	Pd; Ir		17	DN
31	46	2011_04_20	2011_04_20	Praia do CDS	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96526.252	-113120.304	Pr-D	DIA; EC		21	DN
32	47	2012_03_11	2012_03_11	Boca do Inferno	Cascais	P.L.	Aprox.	-112874.51	-107807.589	O	2 Pf			47*
33	48	2012_10_09	2012_10_09	Praia do Bambu	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-92776.502	-120890.439	Pr-D	1 M		20	DN
34	49	2013_12_22	2013_12_22	Praia do CDS	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96526.252	-113120.304		N; 6 M; 1 Pf		18	DN
35	50	2013_12_16	2013_12_16	Praia do Meco	Sesimbra	P.S.	Aprox.	-91674.572	-130052.34	O	6 M		2	DN
36	51	2014_01_07	2014_01_07	Praia de Carcavelos	Carcavelos	P.L.	Aprox.	-104509.86	-109161.474	La	Dap	Ondulação superior a 15m na costa NW		51*
36	52	2014_01_07	2014_01_07	Entre a Poça e aAzarujinha	Cascais	P.L.	NC	-109568.84	-106515.631	La	Gp	Ondulação superior a 15m na costa NW		52*
36	53	2014_01_07	2014_01_07	Oeiras	Oeiras	P.L.	NC	-102779.36	-108828.886	La	Ipe	Ondulação superior a 15m na costa NW		53*
36	54	2014_01_07	2014_01_07	Pastorinha	Cascais	P.L.	Aprox.	-104334.80	-109235.606	La	DIA	Ondulação superior a 15m na costa NW		54*

36	55	2014_01_07	2014_01_07	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	NC	-96553.83	-113030.675	La	Gp, I		17	DN
36	56	2014_01_09	2014_01_09	Entre a Praia de São João e a Praia Nova	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96569.946	112941.139	Pr-D	Gp	Ondulação de 7/8m	13	DN
37	57	2014_03_02	2014_03_02	Entre Praia dos Tranquíferos e a Praia de São João	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	Gp; EC; I			DN
38	58	2014_02_18	2014_02_18	Cascais	Cascais	P.L.	NC	-111854.98	-107005.577	La	Pd; DIA	Prejuízo de 700 000 €	4	DN
38	59	2014_02_18	2014_02_18	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96553.83	-113030.675	Pr-D	Dap		4	DN
38	60	2014_02_17	2014_02_17	Praia do CDS	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96526.252	-113120.304	Pr-D	Gp		14	DN
38	61	2014_02_16	2014_02_16	Praia do CDS	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-96526.252	-113120.304	Pr-D	EC; Gp; Ir; Ipe		23	DN
39	62	2014_02_10	2014_02_10	Oeiras	Oeiras	P.L.	NC	-102337.88	-108492.662	La	Gp		4	DN
40	63	2014_02_03	2014_02_03	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	NC	-96553.83	-113030.675	La	Gp; Ir; Ipe		16	DN
40	64	2014_02_03	2014_02_03	Cascais	Cascais	P.L.	NC	-111597.07	-106669.532	La	E		16	DN
41	65	2014_03_04	2014_03_04	Cascais	Cascais	P.L.	NC	-111854.98	-107005.577	La	Gp		21	DN
41	66	2014_03_04	2014_03_04	Costa da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	NC	-96553.83	-113030.675	La	Gp; Dap	Ondulação de 9 m e prejuízo superior a 350 000€	21	DN
42	67	2014_03_22	2014_03_22	São João da Caparica	Costa da Caparica	P.S.	Aprox.	-97779.041	-111263.433	Pr-D	EC - 20m		5	DN

Legenda do anexo I

Informação fornecida	
Evento	EV.
Ocorrência	OC.
Data do Jornal	Data J.
Data da Ocorrência	Data O.
Localização	LOC.
Península de Lisboa ou de Setúbal	P.S/ P.L
Georreferenciação	Georref.
Coordenada X	C_X
Coordenada Y	C_Y
Consequências provocadas pelo evento	CONSEQ.
Página	Pág.
Consequências	
Erosão Costeira	EC.
Destruição de apoios de praia	Dap.
Destruição de infraestruturas de acesso	DIA.
Galgamento de dunas	Gd.
Galgamento do paredão	Gp.
Paredões danificados	Pd.
Inundações sem nomear o objeto	I
Inundações de casas	Ic.
Inundações de restaurantes	Ir.
Inundações do parque de estacionamento, estradas	Ipe.
Inundação Parque de campismo	Ipc.
Rutura do Cordão Dunar	RCD.
Mortos devido ao mar	nºM
Pessoas feridas	nºPf
Desaparecidos	nºD
Naufrágio	N
Carros danificados	Cd.
Estragos - Não menciona o tipo de estragos	E
Danos em material de pesca	Mpesc.
Desalojados	Desaj.
Sistemas:	
Praia-Duna	Pr-D
Litoral Artificializado	La
Ondulação – em caso de vítimas devido à ondulação	O
Ondulação e Agueiro	O-A
Arriba	A
Sistema rochoso	Sr
Georreferenciação	
Aproximada	Aprox.
Ao nível do Concelho	NC

Anexo II – Ficheiros de entrada *SWAN* para Portugal Continental e *SWAN* na área de estudo

Portugal Continental:

\$

\$----- Section 7. Numerics

\$

\$----- Section 8. Output Sets

\$

NGRID 'Tejo' -9.45 38.5 0 0.25 0.205 25 20

GROUP 'TejoG' SUBG 51 76 196 216

NEST 'Tejo' 'Results\TejoChild.nbc' OUTPUT 20090417.000000 20 MI

\$

\$----- Section 9. Output

POINT 'BAPL' -9.38583 38.62361

SPEC 'BAPL' SPEC2D ABS 'Results\BAPL.spc' OUTPUT 20090417.000000 20 MI

TABLE 'BAPL' HEAD 'Results\BAPL.chr' TIME HS HSWELL PER RTP DIR PDIR &
WATLEV OUTPUT 20090417.000000 20 MI

\$

POINT 'BSines' -8.928889 37.92111

SPEC 'BSines' SPEC2D ABS 'Results\BSines.spc' OUTPUT 20090417.000000 20 MI

TABLE 'BSines' HEAD 'Results\BSines.chr' TIME HS HSWELL PER RTP DIR PDIR
& WATLEV OUTPUT 20090417.000000 20 MI

\$

POINT 'BLeixoes' -8.984773 41.31544

SPEC 'BLeixoes' SPEC2D ABS 'Results\BLeixoes.spc' OUTPUT 20090417.000000 20
MI

TABLE 'BLeixoes' HEAD 'Results\BLeixoes.chr' TIME HS HSWELL PER RTP DIR
PDIR & WATLEV OUTPUT 20090417.000000 20 MI

\$

POINT 'BFaro' -7.899509 36.90623

SPEC 'BFaro' SPEC2D ABS 'Results\BFaro.spc' OUTPUT 20090417.000000 20 MI

TABLE 'BFaro' HEAD 'Results\BFaro.chr' TIME HS HSWELL PER RTP DIR PDIR &
WATLEV OUTPUT 20090417.000000 20 MI

\$
 POINT 'BFaroO' -8.066944444 36.38583333
 SPEC 'BFaroO' SPEC2D ABS 'Results\BFaroO.spc' OUTPUT 20090417.000000 20 MI
 TABLE 'BFaroO' HEAD 'Results\BFaroO.chr' TIME HS HS WELL PER RTP DIR PDIR
 & WATLEV OUTPUT 20090417.000000 20 MI
 \$
 POINT 'ADCP03' -9.323282778 38.6698552
 SPEC 'ADCP03' SPEC2D ABS 'Results\ADCP03.spc' OUTPUT 20090417.000000 20
 MI
 TABLE 'ADCP03' HEAD 'Results\ADCP03.chr' TIME HS HS WELL PER RTP DIR
 PDIR & WATLEV OUTPUT 20090417.000000 20 MI
 \$
 POINT 'ADCP06' -9.364451667 38.63171782
 SPEC 'ADCP06' SPEC2D ABS 'Results\ADCP06.spc' OUTPUT 20090417.000000 20
 MI
 TABLE 'ADCP06' HEAD 'Results\ADCP06.chr' TIME HS HS WELL PER RTP DIR
 PDIR &
 WATLEV OUTPUT 20090417.000000 20 MI
 \$
 POINT 'APL' -9.38583 38.62361
 SPEC 'APL' SPEC2D ABS 'Results\APL.spc' OUTPUT 20090417.000000 20 MI
 TABLE 'APL' HEAD 'Results\APL.chr' TIME HS HS WELL PER RTP DIR PDIR &
 WATLEV OUTPUT 20090417.000000 20 MI
 \$
 TABLE 'COMPGRID' NOHEAD 'Results\table.tbl' HS HS WELL PER RTP DIR PDIR
 FOR WIND & WATLEV TRANSP TIME OUTPUT 20090417.000000 20 MI
 \$
 \$----- Section 10. Run
 NUM ACCUR 0.02 0.02 0.02 98 30
 COMPUTE NONSTAT 20090417.000000 20 MI 20090501.000000
 \$
 HOTFILE 'HotStartOut20090501.dat' UNF
 \$
 STOP

Área de estudo:

\$

\$----- Section 1. Start

PROJECT 'SwanTejo' '1'

SET 2.08 90 0.05 200 1 9.81 1025 99999 1 0.10 NAUTICAL

MODE NONSTAT TWOD

COORD SPHE CCM

\$

\$----- Section 2. General

\$

\$----- Section 3. Model Description

CGRID REG -9.45 38.5 0 0.25 0.205 500 410 CIR 36 0.04 0.5 50

\$

\$----- Section 4. Input

INPGRID BOT REG -9.45 38.5 0 500 410 0.0005 0.0005 EXCEPTION -99.

READ BOT 1 'Batim\Tejo.bty' 1 0 FREE

\$

\$INPGRID WLEVEL REG -9.45 38.5 0 500 410 0.0005 0.0005 EXCEPTION -999 &

\$ NONSTAT 20090401.000000 30 MI 20090405.000000

\$READ WLEV 1 SERIES 'WLevel\WLevel.Ini' 1 0 FREE

\$

\$INPGRID WIND REG -9.45 38.5 0 500 410 0.0005 0.0005 EXCEPTION -999 &

\$ NONSTAT 20090401.000000 1 HR 20090405.000000

\$READ WIND 1 SERIES 'Wind\Wind.Ini' 1 0 FREE

wind 0 0.0001

\$

\$----- Section 5. Boundary/Initial Conditions

BOUNDNEST1 NEST 'NBC\TejoChild04_01_17.nbc' CLOSED

\$

INIT HOTS 'HotStartOut20090331.dat'

\$

\$----- Section 6. Physics

GEN3 JANSSEN 4.5 0.5 AGROW 0.003

BREAKING CONSTANT

FRICION JONSWAP

TRIAD

DIFFRACTION

\$

\$----- Section 7. Numerics

\$

\$----- Section 8. Output Sets

\$

\$----- Section 9. Output

\$POINT 'BAPL' -9.38583 38.62361

\$SPEC 'BAPL' SPEC2D ABS 'Results\BAPL.spc' OUTPUT 20090401.000000 20 MI

\$TABLE 'BAPL' HEAD 'Results\BAPL.chr' TIME HS HSWELL PER RTP DIR PDIR
&

\$ WATLEV OUTPUT 20090401.000000 20 MI

\$

POINT 'ADCP03' -9.323282778 38.6698552

SPEC 'ADCP03' SPEC2D ABS 'Results\ADCP03.spc' OUTPUT 20090405.000000 20
MI

TABLE 'ADCP03' HEAD 'Results\ADCP03.chr' TIME HS HSWELL PER RTP DIR
PDIR &

WATLEV OUTPUT 20090405.000000 20 MI

\$

POINT 'ADCP06' -9.364451667 38.63171782

SPEC 'ADCP06' SPEC2D ABS 'Results\ADCP06.spc' OUTPUT 20090405.000000 20
MI

TABLE 'ADCP06' HEAD 'Results\ADCP06.chr' TIME HS HSWELL PER RTP DIR
PDIR &

WATLEV OUTPUT 20090405.000000 20 MI

\$

POINT 'APL' -9.38583 38.62361

SPEC 'APL' SPEC2D ABS 'Results\APL.spc' OUTPUT 20090405.000000 20 MI

TABLE 'APL' HEAD 'Results\APL.chr' TIME HS HSWELL PER RTP DIR PDIR &
WATLEV OUTPUT 20090405.000000 20 MI

```
$
TABLE 'COMPGRID' NOHEAD 'Results\table.tbl' HS HSWELL PER RTP DIR PDIR
FOR WIND &
WATLEV TRANSP TIME OUTPUT 20090401.000000 20 MI
$
$----- Section 10. Run
NUM ACCUR 0.02 0.02 0.02 98 30
COMPUTE NONSTAT 20090401.000000 20 MI 20090405.000000
$
HOTFILE 'HotStartOut.dat'
$
STOP
```